தாவரவாழ்வியல், உயிர் வேதியியல் உயிர் இயற்பியல்









பேராசிரியர் சா. பழனியப்பன்



தமிழ்நாடு மாநில உயர்கல்வி மன்றம்
காமராசர் சாலை, சென்னை - 600 005.

தாவரவாழ்வியல், உயிர் வேதியியல், உயிர் இயற்பியல்

பேரா. சா. பழனியப்பன்



தமிழ்நாடு மாநில உயர்கல்வி மன்றம்
சென்னை – 600 005.

முதற் பதிப்பு	:	2011
பதிப்புரிமை	:	தமிழ்நாடு மாநில உயர்கல்வி மன்றம் சென்னை – 600 005
நூலின் பெயர்	:	தாவரவாழ்வியல், உயிர் வேதியியல், உயிர் இயற்பியல்
நூலாசிரியர்	:	பேரா. சா. பழனியப்பன், முதல்வர் (ஓய்வு), நந்தனம் அரசு ஆடவர் கலைக்கல்லூரி, சென்னை – 600 035
மறு ஆய்வு செய்தவர்	:	முனைவர் கே.வி. கிருஷ்ணமூர்த்தி, வருகைதரு பேராசிரியர், உயிர் தகவலியல் துறை, பாரதிதாசன் பல்கலைக்கழகம், திருச்சிராப்பள்ளி 620 024.
தமிழ் திருத்தம் செய்தவர்	:	முனைவர் மு. முத்துவேலு, இணைப்பேராசிரியர், தமிழ்த்துறை, மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை 600 005.
விலை	:	ரூ.74.00
அச்சிட்டோர்	:	**சென்னை அச்சக தொழிற் கூட்டுறவு சங்கம் லிட்** 6, பாரதி சாலை, திருவல்லிக்கேணி, சென்னை : 600 005. தொலைபேசி : 28446287



வரிசை	பொருளடக்கம்	எண்
பக்கம்		
12.	நொதிகள்	214–231
	பொதுப் பண்புகள் (வேதிப்பண்புகள், இயற்பியல் பண்புகள், வினையூக்கித்திறன், குறிப்புச்சார்புத் தன்மை, வெப்ப நெகிழ்வுத் தன்மை, மீள் வினைத் தன்மை, P_H உணர்திறன்) – இணை நொதிகள்– ஒத்த நொதிகள்– நொதிகளின் செயல்படும் இலக்கு– நொதியின் ஒழுங்குபடுத்தும் இலக்கு– அல்லோஸ்டீரிய முறை ஒழுங்குபடுத்துதல்– நொதியின் இயக்க முறை–மைக்கேலிஸ்–மென்டென் கருத்துரு– நொதிகளின் வகைப்பாடு (தொன்மைக் கால வகைப்பாடு, தற்கால வகைப்பாடு).	
13.	கொழுப்புகள்	232–244
	பொதுப்பண்புகள் –வேதிப்பண்புகள் (கொழுப்பு அமிலங்கள், அசைல் கிளிசெரால்கள், ஃபாஸ்ஃபோ அசைல் கிளிசெரால்கள், மெழுகுகள், ஸ்பிங்கோலிப்பிடுகள், எய்கோசனாய்டுகள், டெர்பீன்களும் ஸ்டீராய்டுகளும்) –கொழுப்புகளின் வகைப்பாடு (எளிய கொழுப்புகள், கூட்டுக் கொழுப்புகள், வருவிய கொழுப்புகள்).	
14.	வெப்ப இயக்கவியலின் தத்துவங்கள்	245–252
	அமைப்பும் அமைப்பின் வகைகளும்– வெப்ப இயக்கவியலில் வேலையும், ஆற்றலும் (அக ஆற்றலும், கட்டுறா ஆற்றலும்) – வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதி–வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதி–வெப்ப இயக்கவியலின் மூன்றாம் விதி.	

1. தாவரம் – நீர் உறவுகள்
(Plant-Water Relations)

தாவரங்களின் வாழ்வில் நீர் மிக முக்கியப் பங்காற்றுகிறது. ஒரு தாவரம் தான் உருவாக்கும் ஒவ்வொரு கிராம் கரிமப்பொருளுக்கும் 500 கிராம் நீரை வேரின் மூலம் உறிஞ்சி தன் உடலத்தின் வழியே கடத்தி வளிமண்டலத்தினுள் வெளியேற்ற வேண்டியுள்ளது. இந்த ஓட்டத்தில் ஏதேனும் சிறிது சரியீடற்ற நிலை ஏற்படின் நீர் பற்றாக்குறை ஏற்பட்டு, தவறான செயல்பாடுகளுடைய செல் நிகழ்வுகள் உண்டாகின்றன. எனவே ஒவ்வொரு தாவரமும் நீர் உள்ளெடுப்பிலும் இழப்பிலும் மென்மையானதொரு சமன்நிலையினை வெளிப்படுத்துதல் வேண்டும். நிலத்தாவரங்களுக்கு இச்சமன்நிலையை அடைவது ஒரு சவாலாகவே உள்ளது. எனவே, தாவரங்களில் நிகழும் நீர் உறிஞ்சுதல், இழத்தல் ஆகியவற்றின் செயல் நுட்பங்களை அறிந்து கொள்ளுதல் மிகவும் தேவையானதாகும்.

அதற்கு முன், தாவரங்களின் பல்வேறு உயிர்ச்செயல்களுக்கு மிகவும் உதவியாக இருக்கும் நீரின் உயிரியப் பண்புகளைத் தெரிந்து கொள்ளதல் மிகமுக்கியமாகும். மற்ற எந்தக் கரைப்பானுக்குமில்லாத தனிச்சிறப்பு நீருக்கு உண்டாக இதன் மூலக்கூறு அமைப்பே காரணமாகும். நீரானது நேர் மின்சுமை, எதிர் மின்சுமை ஆகிய இரண்டையும் ஒரே மூலக்கூறில் தாங்கிய முனைவு மூலக்கூறாகத் திகழ்வதே இத்தனிச்சிறப்பிற்கான காரணமாகும். அத்துடன், குறைவான மூலக்கூறு எடையினைப் பெற்றிருந்தாலும் அறை வெப்பநிலையில் வளியாகக் (gas) காணப்படாமல், திரவ நிலையிலேயே இருப்பது மற்றொரு சிறப்பாகும். உயிரினங்களின் வாழ்வியல் செயல்களுக்கு ஏற்ற நன்மை தரும் கீழ்க்கண்ட பண்புகள் நீருக்கு ஏற்பட மேற்கூறப்பட்ட மூலக்கூறுசார் பண்புகள் பெரிதும் உதவகின்றன.

- ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பத்தை அதிகம் பெற்றிருப்பதால், அவியாகும்போது அதிக உடல் வெப்பத்தை உறிஞ்சி வெப்பநிலையைச் சீராக்க உதவுதல்.
- திரவநிலையில் உயர்வான ஒப்படர்த்தியை பெற்றிருப்பினும், குழைமைத்தன்மையற்ற (viscosity) நிலை காணப்பட்டு, எப்பொருளையும் எளிதல் ஈரப்படுத்துதல்.
- கூட்டிணைவு விசை, ஒட்டிணைவு விசை ஆகிய இரண்டிணையும் உயர்வாகப் பெற்றுத் துண்டிக்கப்படாத தொடர்ச்சியான நீர்த் தம்பம் தோன்ற உதவுதல்.
- உயர்வான வீதவெப்பமானத்தைப் பெற்றிருப்பதன் மூலம், அதிக அளவு வெப்ப ஆற்றலை உறிஞ்சி அதேசமயம், தாவரத்தின் உடல் வெப்பநிலையில் குறைந்த அளவில் உயர்வை ஏற்படுத்த உதவுதல்.

- டைஎலக்ட்ரிக் சமனை (dielectric constant) உயர்வாகப் பெற்றிருப்பதன் மூலம் சிறந்த மின்பகுளியாகத் திகழ்தல்.

மொத்தத்தில் நீர் ஓர் உயிர்த்திரவம் என அழைக்கப்படுவதற்கு நீரின் மேற்கூறிய பண்பகளே காரணங்களாகும்.

1.1. நீர் கடத்து செயலில் பங்காற்றும் முக்கியச் செயற்கூறுகள் (Important Aspects Involved in Water Conduction)

மண்ணிலிருந்து நீர் உறிஞ்சப்பட்டு, தாவர உடலத்தின் வழியாகக் கடத்தப்பட்டு வளிமண்டலத்தினுள் வெளியேற்றப்படுவதற்குள் செல்சுவர் பிளாஸ்மா சவ்வு சைட்டோபிளாசம், ஸைலத்தின் உட்கால்வாய் வெளிகள் போன்ற மிக வேறுபட்ட ஊடகங்களின் வழியாகப் பயனப்பட வேண்டியுள்ளது. இந்த ஊடகங்களின் வகைக்கு ஏற்ப நீர் கடத்தப்படுதலின் இயக்கமுறை வேறுபடுகிறது. இந்த ஊடகங்கள் வழியாக நீர் கடத்தப்படுதலில் பரவுதல், மொத்த ஒட்டம், ஆஸ்மாசிஸ் என்ற மூன்று முக்கியச் செயற்கூறுகள் பங்காற்றுகின்றன.

1.1.1 பரவுதல் (Diffusion)

தொடர்பற்ற வெப்பக் கிளர்ச்சியினால் நிகழும் மூலக்கூறுகளின் இடப்பெயர்வே பரவுதல் ஆகும். ஒரு கரைசலில் உள்ள நீர் மூலக்கூறுகள் நிலையாக இருப்பதில்லை. தொடர்ச்சியான இயக்கத்தினால் ஒன்றுடன் ஒன்று மோதி இயக்கஆற்றலை பரிமாற்றிக் கொள்கின்றன. இவ்வகையான தொடர்பற்ற வெப்பக்கிளர்ச்சியினால் ஏற்படும் இயக்கமே பரவுதல் எனப்படுகிறது. அழுத்தம், மின்புலம் போன்ற எந்த ஒரு புறவிசையும் செயல்படாத நிலையில், பரவுதல் செயல், மூலக்கூறுகளைச் செறிவு அதிகமான இலக்கிலிருந்து குறைவான இலக்கிற்கு இடப்பெயர்வு அடையச்செய்கிறது. இவ்வாறு பரவுதலும் செறிவு வாட்டமும் (concentration gradient) நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் உள்ளன, என்ற உண்மையினை 1880ஆம் ஆண்டில் ஜெர்மன்நாட்டு அறிவியல் அறிஞர் அடோல்ஃப் ஃபிக் (Adolf Fick) என்பவர் கண்டறிந்தார். இதில் 'செறிவு வாட்டம்' என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்தில் விலகியுள்ள இரண்டு இலக்குகளுக்கிடையே காணப்படும் மூலக்கூறுகளின் செறிவு வேறுபாடாகும். இந்த வாட்டம் அதிகரிக்கும் போது மூலக்கூறுகளின் பரவுதலும் அதிகரிக்கும் என்பதே விதி. இவ்விதி 'ஃபிக் விதி' எனப்படுகிறது.

பரவுதல் அடையும் மூலக்கூறுகளில் செறிவினைப் பொருத்து வெளிப்படும் அழுத்தம் பரவுதல் அழுத்தமாகும் (diffusion pressure). எனவே செறிவு வாட்டத்தைப் போன்று பரவுதல் அழுத்த வாட்டமும்பரவுதல் செயலினை நிருணயிக்கிறது. இதைப் போன்றே

பரவுதல் குணகம் (diffusion coefficient) என்பது ஒரு தகவுபொருத்த மாறிலியாகும் (proportionality constant). ஒரு குறிப்பிட்ட ஊடகத்தில் மூலக்கூறுகள் எவ்வளவு எளிதில் இடப்பெயர்வு அடைகின்றன என்பதைப்பொருத்து, இது அளவிடப்படுகிறது. மூலக்கூறுகளின் தன்மைக்கேற்ப பரவுதல் குணகம் நிருணயிக்கப்படுகிறது. பெரிய மூலக் கூறுகள் இதனைக் குறைந்த அளவிலும். மிகச் சிறிய மூலக்கூறு அதிகப்படியான அளவிலும் பெற்றுள்ளன. மூலக்கூறுகளின் தன்மையுடன் ஊடகத்தின் தன்மையும் பரவுதல் குணகத்தின் அளவை நிருணயிக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக, காற்றுமண்டலத்தில் பரவுதல் குணகம் மிக அதிகமாகவும் திரவ ஊடகத்தில் மிகக் குறைவாகவும் இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஓர் அலகுப் பரப்பில் பரவுதல் மூலம் கடந்து செல்லும் மூலக்கூறுகளின் அளவு இடப்பெயர்வு வீதம் (rate of transport) அல்லது பாய்வு அடர்த்தி (flux density) எனப்படுகிறது.

1.1.2. மொத்த ஓட்டம் (Mass Flow)

அழுத்த வாட்டத்திற்கேற்ப (pressure gradient) மூலக்கூறுகள் ஒன்று சேர்ந்து தொகுப்பாக இடம்பெயரும் நிகழ்ச்சிக்கு 'மொத்த ஓட்டம்' என்று பெயர். தோட்ட நீர்க்குழாயில் (garden hose) நீர் பாய்வதை இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகக் கூறலாம். குழாயின் வழியாக இவ்வாறு மொத்த ஓட்டம் அமையும் போது அதன் ஓட்ட வீதமானது (flow rate) குழாயின் ஆரம். பாயும் திரவத்தின் குழைமத்தன்மை (viscosity), அழுத்த வாட்டம் ஆகியவற்றினால் நிருணயிக்கப்படுகிறது. இதனைப் பிரான்ஸ் நாட்டு வாழ்வியல் வல்லுநர் ஜே. எல். பாய்சில்லி (J.L. Poiseuille) என்பவர் எடுத்துக் கூறியுள்ளார். வாஸ்குலத் தாவரங்களின் சைலம் குழாய் வழியாக நீண்ட தூரத்திற்கு நீர் கடத்தப்படுதல் பொதுவாக இச்செயல் மூலமே நிகழ்கிறது. நிலத்தின் மண்துகள்களுக்கிடையேயும் திசுக்களின் செல்சுவர்களின் வழியாகவும் இத்தகைய நீர் ஓட்டம் நிகழ்கிறது. இங்கு நுண்துளை விசை வாட்டம் (capillary force gradient) இவ்வகை நீர் ஓட்டத்திற்கு உதவுகிறது. பரவுதல் செயலுக்கு உதவக்கூடிய மூலக்கூறுகளின் செறிவு வாட்டம் மொத்த ஓட்ட நிகழ்விற்கு எந்த விதத்திலும் உதவுவதில்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

1.1.3. சவ்வூடுபரவல் (Osmosis)

நீர், கரைப்பான்கள் போன்றவை சவ்வின் வழியாக இடப்பெயர்வு அடைவதற்குச் சவ்வூடுபரவல் என்று பெயர். தாவரங்களின் சவ்வுகள் தெரிவு செலுத்து சவ்வுகளாகத் திகழ்கின்றன. அதாவது இவை மிகப்பெரிய மற்றும் மின்சுமை கொண்ட பொருட்களைக் கடத்தாமல்

மிக நுண்ணிய மற்றும் மின்சுமை பெற்ற பொருட்களை, குறிப்பாக நீரை, எளிதில் கடத்துகின்றன.

பரவுதல், மொத்த ஓட்டம் ஆகிய செயல்களைப் போன்று சவ்வூடுபரவலும், செயலூக்க விசைக்கேற்ப தன்னிச்சையாக நிகழும் ஒரு நிகழ்வாகும். பரவுதலில் செறிவு வாட்டம் இடப்பெயர்விற்கு உதவுகிறது. மொத்த ஓட்டத்தில் அழுத்த வாட்டம் உதவுகிறது. ஆனால் சவ்வூடுபரவலில் இவை இரண்டுமே நீர் மூலக்கூறுகளின் இடப் பெயர்விற்கு உதவுகின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. எடுத்துக் காட்டாக அடர்வில் வேறுபட்ட இரு கரைசல் ஓர் அரைக்கடத்து சவ்வால் (நீரை மட்டும் ஊடுகடத்தும் சவ்வு) பிரிக்கப்பட்டிருக்கும் போது நீர் மூலக்கூறுகளின் செறிவை அதிகம் பெற்ற அடர்வு குறைவான (கரைபொருளை குறைவாகப் பெற்ற) கரைசலிலிருந்து நீர் மூலக்கூறுகளின் செறிவை குறைவாகப் பெற்ற அடர்வு அதிகமான (கரைபொருளை அதிகம் பெற்ற) கரைசலுக்குள் நீர் தன்னிச்சையாக இடப்பெயர்வு அடையும் நிகழ்ச்சி சவ்வூடுபரவல் எனப்படுகிறது. இங்கு நிகழும் நீர் இடப்பெயர் ஆஸ்மாசிஸ் சார்பு ஓட்டம் எனப்படுகிறது.

ஆஸ்மாசிஸ் சார்பு அமைப்பில் (சவ்வால் பிரிக்கப்பட்ட இரு கரைசல்களைப் பெற்ற அமைப்பு) உள்ள கரைசல்களில், கரைபொருள் இருப்பதன் காரணமாக ஏற்படும் அழுத்தம் ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தம் (osmotic pressure) எனப்படுகிறது. இது கரைசல்களின் செறிவிற்கு நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் இருப்பதால், அடர்வுமிக்க கரைசல் அதிக ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தத்தையும் அடர்வுகுறைவான கரைசல் குறைந்த ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தத்தையும் பெற்றுள்ளன. ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தம் ஓர் உறிஞ்சு விசையாகக் கருதப்படுவதால் ஆஸ்மாசிஸ் சார்பு ஓட்டமானது, ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்த வாட்டத்திற்கு எதிர் திசையில் நிகழ்கிறது. அதாவது குறைவான ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தமுள்ள இலக்கிலிருந்து அதிகமான ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தமுள்ள இலக்கிற்கு நீர் மூலக கூறுகளின் இடப்பெயர்வு நிகழ்கிறது.

உள் சவ்வூடுபரவலும் வெளிச் சவ்வூடுபரவலும் (Endomosis and Exosmosis)

தாவர செல் ஒன்றை அதன் ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தத்தை விடக் குறைவான ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தம் பெற்ற (0.1 மோலார் சர்க்கரைக் கரைசல்) ஓர் ஊடகத்தில் இடும்போது சர்க்கரை மூலக்கூறுகள் சவ்வின் வழியாகக் கடத்தப்படாத காரணத்தால், கரைப்பானாகிய நீர் ஊடகத்திலிருந்து செல்லினுள் செல்கிறது. இருபுறமும் ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தம் சமநிலை அடையும் வரை இந்த ஆஸ்மாசிஸ் சார்பு ஓட்டம் நிகழ்கிறது. இங்கு வெளி ஊடகம் தாழ் அழுத்த ஊடகமாகவும்

(hypotonic medium), செல் சாறு (cell sap) உயர் அழுத்த ஊடகமாகவும் செயல் படுகின்றன. இவ்வாறு ஊடகத்திலிருந்து நீர் செல்லினுள் உட்புகும் நிகழ்ச்சிக்கு உள் சவ்வூடுபரவல் என்று பெயர். நீரை ஏற்ற செல் விறைப்பு நிலை (turgid state) அடைகிறது. இதன் விளைவாக செல்லினுள் அதன் சுவரை நோக்கி ஓர் நீர்ம அழுத்தம் உண்டாகிறது. இதற்கு விறைப்பழுத்தம் (turgor pressure) என்று பெயர்.

மாறாக, தாவர செல் ஒன்றை அதன் ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தத்தை விட அதிகமான ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தம் பெற்ற (0.3 மோலார் சர்கரைக் கரைசல்) ஓர் ஊடகத்தில் இடும்போது நீர் செல்லை விட்டு வெளியேறி ஊடகத்தை அடைகிறது. இங்கு வெளி ஊடகம் உயர் அழுத்த ஊடகமாகவும் (hypertonic medium). செல் சாறு (cell sap) தாழ் அழுத்த ஊடகமாகவும் செயல் படுகின்றன. இவ்வாறு செல்லைவிட்டு ஊடகத்தினுள் நீர் இடப்பெயர்வடையும் நிகழ்ச்சிக்கு வெளிச் சவ்வூடுபரவல் என்று பெயர். நீரை இழந்த செல் நெகிழ்வு நிலை (flaccid state) அடைகிறது. இந்தச் செல்லைத் தொடர்ந்து உயர் அழுத்த ஊடகத்தில் இருக்கச் செய்தால் அதன் புரோட்டோபிளாஸ்ட் செல் சுவரைவிட்டு அகன்று அதனால் ஏற்படும் இடைவெளியில் வெளி ஊடகம் சுவர் வழியாக உட்சென்று அவ்விடத்தை நிரப்புகிறது. புரோட்டோபிளாஸ்ட் முற்றிலும் சுருங்கிவிடுவதால் முடிவில் செல் தனது செயலினை இழக்கும் நிலை ஏற்படுகிறது. இதற்குப் பிளாஸ்மாச்சிதைவு (plamolysis) என்று பெயர்.

1.2. ஆஸ்மாசிஸ் பற்றிய அண்மைக்காலக் கருத்தாக்கம் (Modern Concept of Osmosis)

அண்மைக்காலத்தில் ஆஸ்மாசிஸ் வெப்ப இயக்கவியல் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் விளக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு ஆஸ்மாசிஸ் சார்பு அமைப்பில், சவ்வின் குறுக்கே நிகழும் நீர் ஓட்டத்தின் திசையினையும், ஓட்ட வீதத்தினையும் சவ்வின் இருபுறமும் காணப்படும் நீர் மூலக்கூறுகளின் செறிவு வாட்டம் மட்டுமோ, கரைபொருட்கள் இருப்பதால் ஏற்படும் அழுத்த வாட்டம் மட்டுமோ நிருணயிக்காமல் இவை இரண்டின் ஒட்டு மொத்த செயலே நிருணயிக்கிறது என்பது அண்மைக்காலக் கருத்தாக்கம் ஆகும். இந்த ஒட்டு மொத்த நிகழ்வு விசை, வெப்ப இயக்கவியல் தத்துவத்தின் படி வேதியியல் திறன் வாட்டம் (chemicall potential gradient) எனப்படுகிறது. தாவரவாழ்வியல் வல்லுனர்கள் இதனை நீர் இயல்திறன் வாட்டம் என்கின்றனர்.

ஆஸ்மாசிஸ் நிகழ்விற்கு எளிய பரவுதல் செயல் மட்டும் போதுமானது அல்ல. சவ்வில் காணப்படும் நுண்ணிய துளைகள் மூலம் நிகழும் நீரின் மொத்த ஓட்டச் செயலும் உதவுகிறது என்பது தற்காலக்

கருத்து. போரின் புரத்ததால் (porin proteins) ஆன் நுண்துளைகளுக்கு நீர் போரின் துளைகள் (aquaporins) என்று பெயர். இத்துளைப் புரதங்களில் ஏற்படும் ஃபாஸ்ஃபரஸ் ஏற்றம் அவை நீர் கால் வாய்களாகச் செயல்பட உதவுகிறது. அதாவது இத்துளைப்புரதங்களின் குறிப்பிட்ட அமினோ அமிலங்களில் ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கப்படுதல் அல்லது நீக்கப்படுதல் செயல் மூலம் பிளாஸ்மா சவ்வில் நீர் ஊடுகடத்தப்படும் திறன் ஒழுங்குபடுத்தப்படுகிறது. இருப்பினும் நீர் செல்லும் திசையில் அல்லது கடந்து செல்வதற்கு உதவும் விசையில் எந்தவித மாற்றங்களையும் இது ஏற்படுத்துவதில்லை. இனி ஆஸ்மாசிஸ் நிகழ்வைத் தீர்மானிக்கும் வெப்ப இயக்கவியல் கூறுகளைப்பற்றிக் காண்போம்.

1.2.1. வேதியியல் திறன் (Chemical Potential)

வெப்ப இயக்கவியலில் ஒரு பொருளின் தனி ஆற்றல் என்பது அதன் செயல் நிகழ்விற்கான உள்நிலை ஆற்றலைக் குறிக்கிறது. எந்த ஒரு பொருளுக்கும் அல்லது மூலக்கூறுக்கும் உள்ள இந்த தனியாற்றலே அதன் வேதியியல் திறன் எனப்படுகிறது. இந்த ஆற்றல் அளவைக் கொண்டே அதன் வேதிய செயல்நிகழ்வு நிருணயிக்கப் படுகிறது. புறக்காரணிகளாகிய வெப்பம், அழுத்தம், புவிஈர்ப்பு விசை, பிற வேதிச்சேர்மங்களுடன் ஏற்படும் தொடர்பு முதலிய பல காரணிகள் ஒரு பொருளின் வேதியியல் திறனில் தாக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்றன.

வேதியில் திறன் ஒரு ஒப்பீட்டு அளவாகும். தகவுநிலையில் (standard state) ஒரு பொருளுக்குள்ள உள்ளார்ந்த ஆற்றலுக்கும் தற்போதுள்ள நிலையில் காணப்படும் உள்ளார்ந்த ஆற்றலுக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாட்டின் மூலம் இது அறியப்படுகிறது. ஒரு மோல் அளவுடைய பொருளுக்கான ஆற்றல் J mol^{-1} என்ற அலகினால் குறிப்பிடப்படுகிறது.

1.2.2. நீரியல்திறன் (Water potential)

தாவரவியல் வல்லுநர்களால் வேதியியல் திறனுடன் உறவுடைய ஒரு அளவீடாகக் கருதப்படுவது நீரியல்திறனாகும். நீருக்கான வேதியியல் திறனை குறிக்கும் அளவீடே இந்த நீரியல்திறனாகும். இது $)_w$ (சை) என்ற குறிப்பிடப்படுகிறது. ஓர் அலகுக் கொள்ளளவில் காணப்படும் தனியாற்றல் அளவாக (J m^{-3}) இது குறிப்பிடப்படுகிறது. இது தற்போது அழுத்தத்திற்கான அலகுகளில் ஒன்றான பாஸ்கல் (pacal) என்ற அலகினால், குறிப்பாக, மெகா பாஸ்கல் என்ற அலகினால் குறிப்பிடப்படுகிறது. [பொதுவாக வளிஅழுத்தம் (atmosphere) என்ற அலகினால் அழுத்தத்தை குறிப்பது வழக்கம். ஒரு வளிஅழுத்தம் என்பது கடல் மட்டத்தில் 780 மி.மீ பாதரசம் (780mm

Mg) அல்லது **1.013** பார் (bar) அளவாகும். ஆனால் தற்போது இது மெகா பாஸ்கல் (MPa) அலகாகக் கொடுக்கப்படுகிறது. ஒரு மெகாபாஸ்கல் **9.9** வளி அழுத்தத்திற்குச் சமம் அல்லது ஒரு வளி அழுத்தம் **0.1013** மெகா பாஸ்கலுக்குச் சமம்].

1.2.3. வேதியியல்திறன் வாட்டமும் நீரியல்திறன் வாட்டமும்

நிலம்–தாவரம்–வளிமண்டலம் இவற்றின் தொடர்பு நிலைக்கு உதவும் பரவுதல் செயலின் இயக்க சக்திகளாக வேதியியல் மற்றும் நீர் இயல்திறன் வாட்டங்கள் திகழ்கின்றன. எனவே, இவற்றை உருவாக்க உதவும் காரணிகளைப் பற்றி தெரிந்து கொள்ளுதல் மிக அவசியமாகும்.

i) செறிவு

சவ்வின் வழியாக செல்ல இயலும் தனிம அயனிகள், கரிம மூலக்கூறுகள் போன்றவை பரவுதலடைய தேவைப்படும் வேதியியல் திறன் அவற்றின் செறிவினால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. செறிவு அதிகரிக்கும் போது கடத்தப்படும் அயனிகள் அல்லது மூலக்கூறுகளின் வேதியியல் திறன் அதிகரித்து, குறைந்த செறிவுடைய (குறைந்த வேதியியல் திறன் பெற்ற) இலக்கை நோக்கிப் பரவுகின்றன. அதாவது செறிவால் ஏற்படும் வேதியியல் திறன் வாட்டம் இவற்றின் இடப்பெயர்வைத் தீர்மானிக்கிறது.

பெரும்பாலும், உட்திணிவு அடைய முடியாத ஊடகமாக நீர் இருப்பதால் இதன் மூலக்கூறு செறிவு ஏறத்தாழ நிலையாகவே காணப்படும். கரைபொருட்கள் சேர்க்கப்படுவதாலோ வெப்ப நிலை மாற்றத்தாலோ இதன் செறிவில் மிகச் சிறிதளவே மாற்றம் நிகழ்கிறது. எனவே, நீர் பரவுதலை விளக்க நீரின் செறிமானம் எந்த விதத்திலும் உதவுவதில்லை என்பதே உண்மை. எனவே நீர் மூலக்கூறுகளின் செறிவைக் கணிக்கில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டியதில்லை.

ii) வெப்ப நிலை

வெப்ப நிலை மாற்றத்தால் நீரின் செறிவில் மாற்றம் ஏதும் நிகழ்வதில்லை என்றாலும், அதன் தனி ஆற்றலில் மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. அதாவது, நீர் இயல்திறன் பாதிக்கப்படுகிறது. எடுத்துக் காட்டாக, சவ்வின் இரு புறமும் தூய நீர் உள்ள நிலையில் சவ்வின் வழியாக இரு திசைகளிலும் ஒத்த எண்ணிக்கையில் நீர் மூலக்கூறுகள் தங்களின் இயக்க ஆற்றல் காரணமாக இடப்பெயர்வு அடைகின்றன. ஆனால், ஒரு புறம் மட்டும் வெப்பம்ஊட்டப்படும் போது அங்குள்ள மூலக்கூறுகளின் நீரியல்திறன் உயர்வதால், வெப்பமூட்டப்பட்ட பகுதியிலிருந்து ஊட்டப்படாத பகுதிக்கு நீர் மூலக்கூறுகள் அதிக எண்ணிக்கையில் இடப்பெயர்வு அடைகின்றன. இவ்வகையான பரவுதலுக்கு வெப்பநிலை உயர்வால் ஏற்படும் நீரியல்திறன் வாட்டமே

காரணமாகும். எனவேதான் அறை வெப்பநிலையில் உள்ள எந்த உணவுப்பொருளையும் குளிர்சாதனப் பெட்டியில் உள்ள உறைய அறையில் (freezer) வைக்கும்போது உணவிலிருந்து நீர் மூலக்கூறுகள் பரவுதலடைந்து உறைநிலை அடைகின்றன. நிலத்தின் பரப்பில் இரவு நேரத்தில் வெப்பம் குறைவதால், ஆழத்தில் உள்ள திரவ நீர் அல்லது நீராவி மூலக்கூறுகள் மேல்நோக்கி பரவுவதும். பகல்பொழுதில் எதிர் திசையில் பரவுதல் அடைவதும் நிகழ்கின்றன.

iii) அழுத்தம்

ஓர் அமைப்பில் அழுத்தம் அதிகரிக்கும் போது தனி ஆற்றல் உயர்வதால் அதன் வேதியியல் திறனும் அதிகரிக்கிறது. இந்த அமைப்பு நீராக இருப்பின் அதன் நீர் இயல்திறன் அதிகரிக்கிறது. ஒத்த கரை பொருள் செறிவைப் பெற்ற இரு கரைசல்கள் அரைகடத்துச் சவ்வால் (நீரை மட்டும் ஊடுகடத்தும்) பிரிக்கப்பட்டிருக்கும் நிலையில் ஒரு புறத்தில் உள்ள கரைசலுக்கு அழுத்தம் கொடுக்கப்படும் போது அவ்விடத்தில் உள்ள கரைபொருட்களுக்கு வேதியியல் திறனும், கரைப்பானாகிய நீர் மூலக்கூறுகளுக்கு நீரியல்திறனும் அதிகரிக்கின்றன. கரைபொருள் இடம் பெயர முடியாத தால் நீர் மூலக்கூறுகள் அவ்விடத்திலிருந்து இடம்பெயர்ந்து அழுத்தம் அளிக்கப்படாத கரைசலுக்குள் செல்கின்றன. இதனை நாம் 'மொத்த ஓட்டம்' என்கிறோம்.

தடுப்புச்சவ்வு கரைபொருள் மூலக்கூறுகளையும் அனுமதிக்கும் சவ்வாக இருப்பின் அவையும் நீர் மூலக்கூறுகளைப் போல் பரவுதல் அடைய முடியும் என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. தாவரங்களில் அழுத்தத்தினால் ஏற்படும் இவ்வகையான நீர் ஓட்டத்திற்கு, நீராவிப்போக்கின் இழு விசையால் ஏற்படும் சாரேற்றம் ஒரு சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும்.

iv) கரைபொருள் மூலக்கூறுகள்

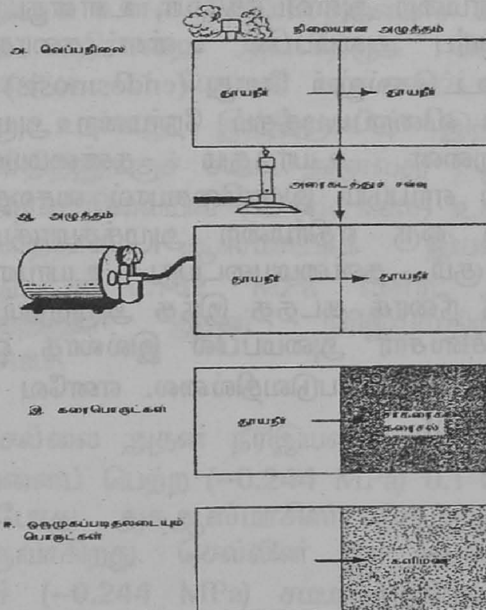
கரைபொருள் இடப்படுவதால் கரைப்பானாகிய நீரின் மூலக்கூறு செறிவில் மாற்றங்கள் நிகழ்வதில்லை என்றாலும், அதன் தனி ஆற்றல் குறைந்து நீரியல் திறனில் மாற்றம் ஏற்படுகிறது. அதாவது கரைசலில் உள்ள நீர் மூலக்கூறுகளுக்கு நீரியல் திறன் குறைகிறது. எனவே ஒரு கரைசலும், கரைப்பானாகிய தூய நீரும் அரைகடத்துச் சவ்வால் பிரிக்கப்படிருக்கும் நிலையில் நீரியல்திறன் வாட்டம் காரணமாக நீர் மூலக்கூறுகள், நீரியல்திறன் குறைவாக உள்ள கரைசலினுள் செல்கின்றன. கரைசலில் இவ்வாறு ஏற்படும் நீரியல்திறன் மாற்றம் கரைபொருட்களின் தன்மையையும் செறிவையும் சார்ந்தது என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது. கரைந்து அயனிகளாகப்பிரியும் கரைபொருட்களே கரைசலின் நீரியல்திறனைக் குறைக்க முடியும், அதேபோல்

கரைபொருட்களின் செறிவு அதிகமாகும் போது நீரியல்திறன் குறைவும் அதிகரிக்கிறது.

v) புறஒட்டலடையும் பரப்புகள் (Adsorptive Surfaces)

நிலத்தில் உள்ள களிமண் துகள்கள், செல் சுவரில் உள்ள பாலிசாக்கரைடுகள், புரதங்கள் ஆகியவை மின்சுமை கொண்ட பரப்பைப் பெற்றிருப்பதால், நீரைப் புறஒட்டல் கொள்ளும் தன்மை அவற்றிற்கு உள்ளது. இப்பரப்புகளில் பொதுவாக எதிர் மின்சுமை காணப்படுவதால், முனைவு மூலக்கூறான (இரு மின்சுமைகளையும் பெற்ற மூலக்கூறு) நீர் மூலக்கூறு அவற்றின் நேர்முனைப் பக்கமாக ஈர்க்கப்பட்டுப் புறஒட்டல் அடைகின்றன. இவ்வாறு நீரைப் புறஒட்டல் அடையச் செய்யும் மின்சுமை பெற்ற பொருளுக்குக் கூழ்மத்தளம் (matrix) என்று பெயர். இங்கு நிகழும் புறஒட்டல் செயல் தனி ஆற்றலை விடுவிக்கும் ஒரு தன்னிச்சையான செயல். எடுத்துக் காட்டாக, உலர்ந்த புரதப் பொருள் அல்லது களிமண் ஒரு அரைகடத்துச் சவ்வின் மூலம் தூய நீரில்லிருந்து பிரிக்கப்பட்டிருக்கும் போது, நீரியல்திறன் வாட்டம் காரணமாக களிமண் பகுதியை நீர் அடைவதுடன் அங்கு தனி ஆற்றலை விடுவிக்கின்றன (படம்–1). இவ்வாறு கூழ்மத்தளப் பொருட்க்கள் நீரை புறவொட்டல் கொள்ளும் நிகழ்ச்சி நீர்த்தல் (hydration) அல்லது உள்ளீர்த்தல் (imbibition) என அழைக்கப்படுகிறது. முளைப்பதற்கு முன் விதைகள் நீரை இந்நிகழ்வின் மூலம் உள்ளெடுத்துக் கொள்கின்றன. மேலும், நிலத்தில் நீர்ஒட்டம் நிகழப் புவி ஈர்ப்பு விசையுடன் இந்நிகழ்வும் சேர்ந்து உதவுகிறது.

படம்–1



1.2.4. ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறனும் அழுத்த இயல்திறனும்

கரைபொருட்களால் நீரியல் திறனில் ஏற்படும் விளைவு ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறன் எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. இதற்கு)$_s$ என்ற குறியீடு தரப்பட்டுள்ளது. வெப்ப இயக்கவியல் அடிப்படையில் இது ஓர் இயைபிலா (entropy) விளைவாகும். அதாவது, கரைபொருட்கள் இடுவதால் அமைப்பில் ஏற்படும் ஒழிங்கீனமே நீரிஇயல் திறன் குறைய காரணமாகும். இந்த இயைபிலா விளைவு நீரிஇயல் திறனைக் குறைப்பதோடல்லாமல் ஆவி அழுத்தம், உறைநிலை இலக்கு ஆகியவற்றை குறைக்கவும், கொதிநிலை இலக்கை உயர்த்தவும் உதவுகிறது. இப்பண்புகள் யாவும் கரைபொருள்களின் தன்மையால் நிருணயிக்கப்படாமல் எண்ணிக்கையால் நிருணயிக்கப்படுகிறது என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. இது ஃபான் ஹாஃப் என்பவர் தந்த கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் குறிப்பிடப்படுகிறது.)$_s$= RTC$_s$ இதில் R - என்பது வளி மாறிலியாகும் (gas constant). ஒரு மோல் அளவில், ஒரு கெல்வின் அளவில் (K) தரப்படுகிறது. Cs என்பது கரைசலில் உள்ள கரைபொருள் செறிவைக் குறிக்கிறது. சமன்பாட்டின் முன்பு தரப்பட்டுள்ள (–) குறியீடு கரைசலின் நீர் இயல்திறன் கரைபொருட்கள் இடப்படுவதால் குறைகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது.

கரைசலில் உண்டாகும் நீர்ம அழுத்தம் அதன் அழுத்த இயல்திறன் எனப்படுகிறது. இதற்கு)$_p$ என்ற குறியீடு தரப்பட்டுள்ளது. இது நேர்மறை அளவீடாகவோ எதிர்மறை அளவீடாகவோ, உள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு ஆஸ்மாசிஸ்சார்பு அமைப்பில் உள்ள கரைசலில் ஆஸ்மாசிஸ் ஒட்டத்தினால் நீர் உட்செல்லும் போது (endosmosis) அங்கு தோன்றும் நீர்ம அழுத்தமாகிய விறைப்பழுத்தம் நேர்மறை அழுத்தமாக உள்ளது. இது நீரிஇயல்திறனை உயர்த்தும் தன்மையுடையது. மாறாக நீராவிப்போக்கினால் ஏற்படும் இழுவிசையால் சைலத்தில் உள்ள நீரில் ஏற்படும் அழுத்தம் ஒரு எதிர்மறை அழுத்தமாகும். இது நீரிஇயல் திறனைக் குறைக்கும் தன்மையுடையது. உயரமான தாவரங்களில் நீண்ட உயரத்திற்கு நீரைக் கடத்த இந்த அழுத்தம் உதவுகிறது. தூய நீருக்கும், ஆஸ்மாசிஸ்சார் அமைப்பில் இல்லாத ஒரு கரைசலுக்கும் அழுத்த இயல்திறன் காணப்படுவதில்லை. எனவே இவற்றில்)$_p$ = 0 MPa (0 மெகா பாஸ்கல்).

1.2.5. செல்-நீர் உறவில் நீர் இயல்திறன், ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறன், அழுத்த இயல்திறன் ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள உறவு

செல்லில் நிகழும் ஆஸ்மாசிஸ் செயல் அதன் நீரிஇயல்திறன் ($)_w$), கரைபொருள் இருப்பதால் ஏற்படும் ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறன் ($)_s$), நீர்ம அழுத்தத்தினால் ஏற்படும் அழுத்த இயல்திறன் ($)_p$), புவியீர்ப்பு விசை ($)_G$) ஆகிய அனைத்தையும் சார்ந்துள்ளது. இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் அறியலாம்.

$$)_W =)_S +)_P +)_G$$

இவற்றுள் $)_G$ கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ளப்படுவதில்லை. ஆஸ்மாசிஸ் நிகழும் தூரம் மிகக்குறைவானதாக இருப்பதே இதற்குக்காரணம். எனவே, கரைபொருட்கள், நீர்ம அழுத்தம் ஆகிய இரண்டு காரணிகள் மட்டுமே நீரிஇயல் திறனைத் தீர்மானிக்கும் பகுதிக்கூறுகளாகத் திகழ்கின்றன. கீழ்க்கண்ட எடுத்துக்காட்டைக்கொண்டு இதனை விளக்கலாம்.

ஆஸ்மாசிஸ் அமைப்பு ஒன்றில் இல்லாது. வளிமண்டலத்துடன் தொடர்புற்ற திறவு நிலையில் உள்ள தூய நீருக்கு நீர்ம அழுத்தம் காணப்படுவதில்லை. எனவே இதன் அழுத்த இயல்திறன் $)_P = 0$. அதேபோல் கரைபொருள் ஏதுமில்லாததால் ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறனும் இருப்பதில்லை. எனவே $)_s = 0$. இவை இரண்டும் சுழியாக இருப்பதால் அதன் நீரிஇயல்திறனும் ($)_w$) சுழியாக உள்ளது. ஏனெனில் $)_W =)_S +)_P$

ஆஸ்மாசிஸ் அமைப்பு ஒன்றில் இல்லாது, திறவுற்ற நிலையில் உள்ள 0.1 மோலார் சர்க்கரைக்கரைசலில் சர்க்கரை மூலக்கூறுகள் இருப்பதால் ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறன் உருவாகிறது. இது ஓர் எதிர்மறை அழுத்தமாகும். சுழியாக உள்ள நீரிஇயல்திறனைச் சர்க்கரை மூலக்கூறு மேலும் குறைத்து எதிர்மறை அளவிற்குக் கொண்டு செல்வதே இதற்குக் காரணமாகும். 0.1 மோலார் சர்க்கரைக் கரைசலில் இது – 0.244 MPa ஆக உள்ளது. இந்நிலையில் இதன் நீரிஇயல்திறன் ஆஸ்மாட்டிக் இயல்திறனுக்குச் சமம். அதாவது $)_W =)_S$. இதே போல் நீரை இழந்து நெகிழ்வு நிலையில் (flaccid state) உள்ள செல்லில் நீர்ம அழுத்தம் இல்லாததால் ஆஸ்மாட்டிக் இயல்திறன் மட்டுமே காணப்படும். இது – 0.732 MPa என்ற அளவில் உள்ளது. இந்நிலையில் இதிலும் அதன் நீரிஇயல்திறன் ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறனுக்குச் சமம்.

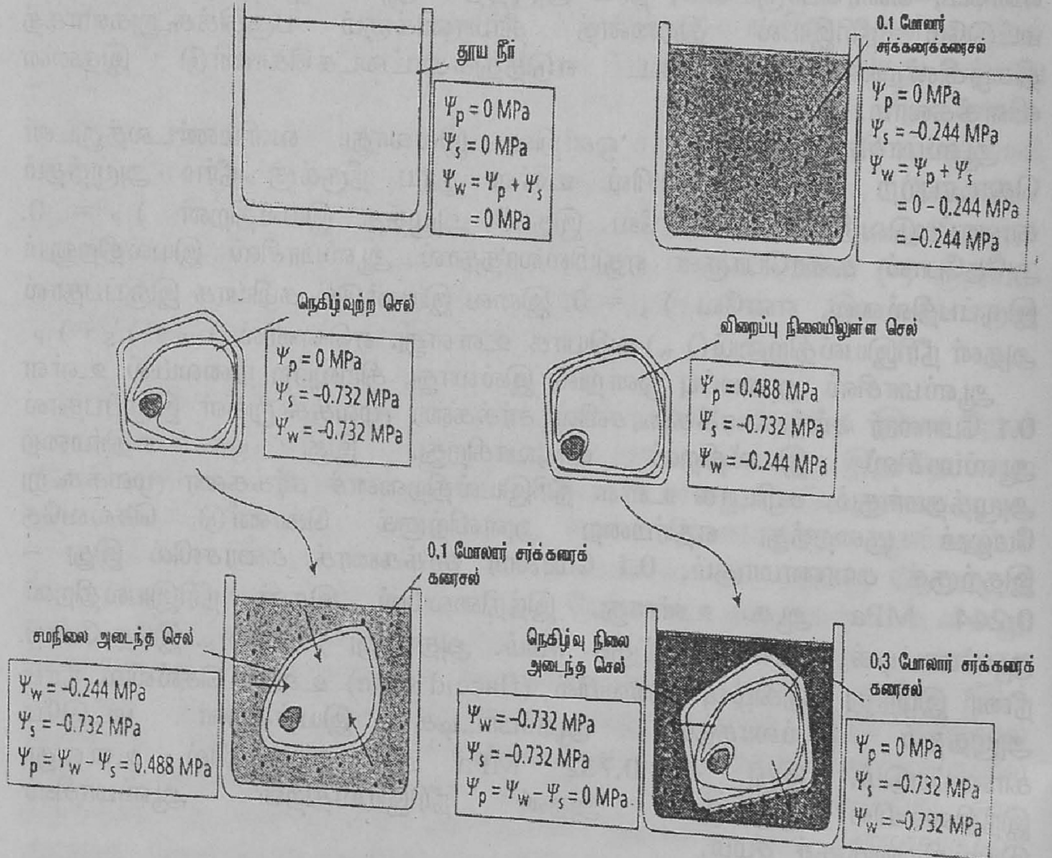
இப்படிப்பட்ட செல்லை அதன் நீரிஇயல்திறனை (–0.732 MPa) விட அதிக நீரிஇயல்திறனைப் பெற்ற (–0.244 MPa) 0.1 மோலார் சர்க்கரைக் கரைசலில் இடும்போது அகஆஸ்மாசிஸ் நிகழ்ந்து அதில் அழுத்த இயல் திறன் உருவாகிறது. செல்லின் நீரி இயல்திறன் கரைசலின் நீரிஇயல்திறனுக்குச் (–0.244 MPa) சமமான நிலை அடையும் போது

ஆஸ்மாசிஸ் சார்பு ஓட்டம் நின்றுவிடுகிறது. அதன் அழுத்த இயல்திறன் **0.488** MPa ஆக உள்ளது. ஏனெனில்) $_P$ =) $_W$ +) $_S$.
அதாவது,

) $_P$ = (-0.244 MPa) – (-0.732 MPa) = 0.488 MPa.

விறைப்பு நிலையில் உள்ள இவ்வகையான செல்லை அதன் நீரிஇயல்திறனை (-0.244 MPa) விடக் குறைவான நீரி இயல்திறனைப் பெற்ற (-0.732 MPa) **0.3** மோலார் சர்க்கரைக் கரைசலில் இடும்போது புறஆஸ்மாலிஸ் நிகழ்ந்து செல் மீண்டும் நெகிழ்வு நிலை அடைகிறது (படம் – 2).

படம் –2



1.3. வேர்களில் நீர் உறிஞ்சு செயல் (Water Absorption Process in Roots)

திறம்பட்ட நீர் உறிஞ்சுதல் நிகழ வேண்டுமாயின் வேர்பரப்பிற்கும் மண்ணிற்குமிடையே நெருக்கமான தொடர்பு காணப்படுதல் மிகவும் இன்றியமையாததாகும். இந்த நெருக்கம் ஒரு வேர்த்தொகுப்பின் நல்ல வளர்ச்சியால் குறிப்பாக மிகையான வேர்த்தூவிகள் உருவாக்கப் படுவதால், சாத்தியமாக்கிறது.

உறிஞ்சுதலில் பங்காற்றும் வேரின் முதன்மைப் பகுதி வேர்த்தூவிப் பகுதியாகும். நுண்ணோக்கியில் மட்டும் புலப்படக்கூடிய வேர் புறஅடுக்கு நீட்சிகளே வேர்த்தூவிகளாகும். இவை நீரை உறிஞ்சவும் அயனிகளை உள்ளெடுக்கவும் தேவையான புறப்பரப்பை அதிகரிக்கச் செய்யவும் உதவுகின்றன. வேர்த்தூவிப்பகுதிக்கு மேல் உள்ள பகுதி இரண்டாம் நிலை வளர்ச்சி ஏற்பட்ட முதிர்ச்சிப் பகுதியாகும். குறுக்கு வளர்ச்சியால் தோன்றிய நீர் வெறுக்கும் தன்மை பெற்ற எக்சோடெர்மிஸ் (exodermis) அடுக்கை வெளியே பெற்றிருப்பதால் இப்பகுதியில் நீர் உறிஞ்சப்படுவதில்லை. இவ்வடுக்குச் செல்களில் சூபரின் காணப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். வேர்த்தூவிக்கு அருகே எக்சோடெர்மிஸ் அடுக்கு இருந்தாலும் இவ்வடுக்கு செல்களில் சூபரின் படிமம் காணப்படுவதில்லை (ஆர்க்கிடு தாவரங்கள் இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும்). வேர்களில் நீர் உறிஞ்சு செயல் இரு விதங்களில் நிகழ்கின்றன.

1.3.1. உயிர்ப்பு உறிஞ்சுதல் (Active Absorption)

எந்த வித நிர்பந்தமும் இல்லாமல் வேர் தானாக நீரை உறிஞ்சிக் கொண்டால் அதற்கு உயிர்ப்பு உறிஞ்சுதல் என்று பெயர். இந்நிகழ்வின் போது நிலத்தில் உள்ள நீர் மொத்த ஓட்டச் செயலினால் சிறப்பான முறையில் மண்ணிலிருந்து வேருக்கு இடப்பெயர்வடைகிறது. இருப்பினும், இந்நீர் வேர் பரப்பை அடைந்ததும், அங்கிருந்து தாவரத்திற்குள் இடப்பெயர்வடைவது எளிய செயலாக அமைவதில்லை. வேரின் புற அடுக்கிலிருந்து அகத்தோல் வரை நீர் கடத்தப்படுவது மூன்று வழிப்பாதைகள் மூலம் நிகழ்கிறது. **1.** புறபுரோட்டோபிளாச வழிப்பாதை (apoplast pathway) **2.** சவ்வு வழிப்பாதை (transmembrane pathway) **3.** புரோட்டோபிளாச வழிப்பாதை (symplast pathway).

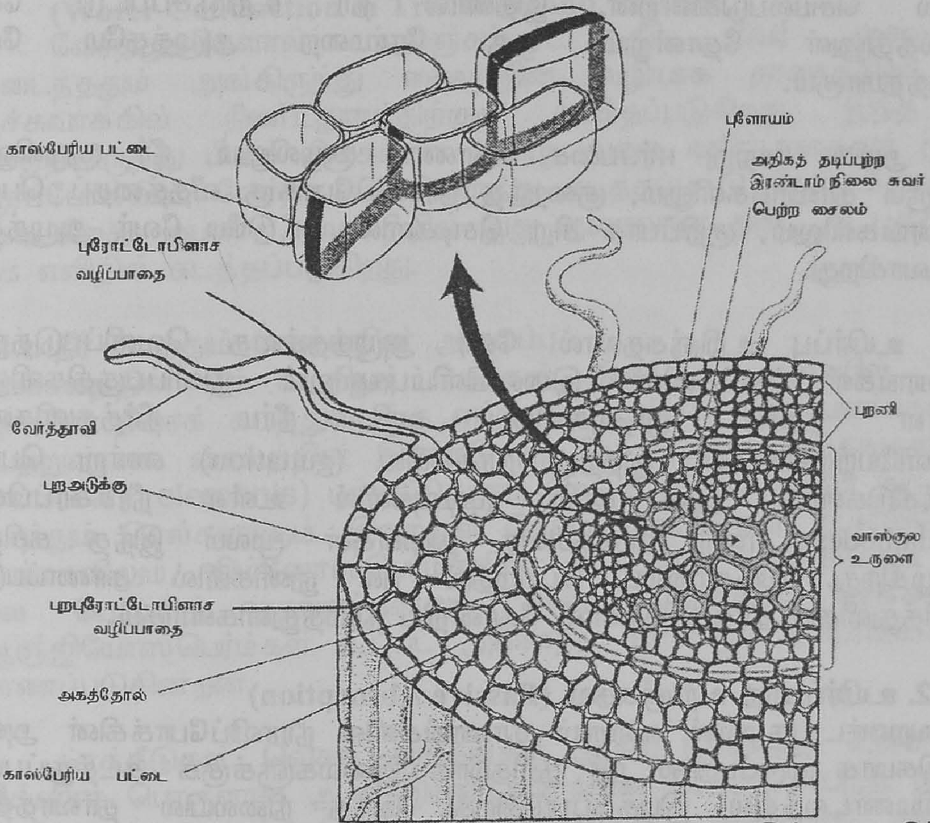
சவ்வுகள் எவ்வற்றின் வழியாகவும் செல்லாமல், அனைத்து செல்களின் செல் சுவர்கள் வழியாக மட்டும் நீர் இடம்பெயர்ந்து செல்லும் பாதை புறபுரோட்டோபிளாச வழிப்பாதை எனப்படுகிறது. வேர்த்திசுக்களின் அனைத்து செல்களின் செல்சுவர்கள், செல்லிடைவெளிகள் ஆகியவற்றை உள்ளடக்கிய பாதை இதுவாகும்.

வேரினுள் ஒரு செல்லிலிருந்து மற்றொரு செல்லிற்குச் சவ்வின் வழியாக நீர் கடந்து செல்லும் பாதை சவ்வு வழிப்பாதை எனப்படுகிறது. ஒவ்வொரு செல்லினுள்ளும் குறைந்தது இரண்டு சவ்வுகள் வழியாக இம்முறையில் நீர் பயனிக்கிறது. 1. ஊட்புகும் பகுதியில் உள்ள பிளாஸ்மாச் சவ்வு 2. வெளியேறும் பகுதியில் உள்ள பிளாஸ்மாச் சவ்வு.

ஒரு செல்லிலிருந்து மற்றொன்றிற்குச் செல்சுவர்களில் காணப்படும் பிளாஸ்மோடெஸ்மாக்கள் (plamodemata) வழியாக நீர் கடந்து செல்லும் பாதை புரோட்டோபிளாச வழிப்பாதை எனப்படுகிறது. வேரினுள் உள்ளஅனைத்து உயிருள்ள செல்களின் சைட்டோபிளா சங்களுக்கிடையே இணைப்பு வலை ஒன்றை உருவாக்க இந்த பிளாஸ்மோடெஸ்மாக்கள் உதவுகின்றன.

அகத்தோல் அடுக்குச் செல்களின் ஆரச் சுவர்களிலும் குறுக்குச் சுவர்களிலும் காணப்படும் சூபரின் பொருளால் ஆன காஸ்பேரியப் பட்டை (Casparian strip) புறபுரோட்டோபிளாச வழிப்பாதைக்குத் தடையாக உள்ளது (படம்–3). வேர் நுனியிலிருந்து சில மில்லி மீட்டர் தூரத்திற்கு அப்பால், அதாவது முதல் புரோட்டோசைல முழு முதிர்ச்சி அடைந்துள்ள இடத்திற்கு அப்பால் உள்ள வேர்ப் பகுதிகளின் அகத்தோல் செல்களில் மட்டுமே இந்தத் தடிப்பு காணப்படுகிறது. இப்பகுதியில் உள்ள அகத்தோலில் புறபுரோட்டோபிளாச வழிப்பாதை மூலம் நீரும் தனிம அயனிகளும் கடத்தப்படாமல், பிளாஸ்மா சவ்வினை ஊடுருவிச் செல்வதன் மூலமும் புரோட்டோபிளாச் வழிப்பாதை மூலமும் கடத்தப்படுகின்றன. எனவே வேரின் வளர்ச்சியை உருவாக்கும் இளம் வேர்ப்பகுதியில் மட்டுமே புறபுரோட்டோபிளாச வழிப்பாதை நிகழ முடியும். மேற்கூறப்பட்ட அனைத்து வழிப்பாதைகளிலும் ஆஸ்மாசிஸ் நிகழ்வைப் பொறுத்த நீர் கடத்து செயல் நிகழ்வது குறிப்பிடத்தக்கது. அதாவது, நீரிஇயல் திறன் வாட்டத்திற்கு ஏற்ப இந்நிகழ்வு நடைபெறுகிறது. இதற்கு உயிர்ப்பு உறிஞ்சுதல் (active absorption) என்று பெயர்.

படம் – 3



சில சமயங்களில் வேர்களின் சைலத்தினுள் இந்த உமிர்ப்பு உறிஞ்சுதல் செயலினால் ஒரு நேர்மறை நீர்ம அழுத்தம் தோன்றுகிறது. இதற்கு வேர் அழுத்தம் என்று பெயர். எடுத்துக்காட்டாக, சில தாவரங்களின் இளம் நாற்றினைத் தரைக்குச் சற்று மேலாக வெட்டும்போது, தரையில் ஊன்றியுள்ள தண்டின் வெட்டு முனையின் சைலத்திலிருந்து பல மணி நேரத்திற்கு ஒரு திரவம் கசிந்து வெளியேறுவதைக் காணலாம். இது வேர் அழுத்தத்தின் விளைவேயாகும். நேர்மறை அழுத்தமாகிய இது 0.05 முதல் 0.5 மெகா பாஸ்கல் அளவுடையதாக இருக்கும்.

நீர்த்த நிலக்கரைசலிலிருந்து நீருடன் அயனிகளும் வேர் சைலத்தினை அடையும் போது. அங்கு கரைபொருட்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கத் தொடங்குகிறது. இதனால் சைலத்தின் ஆஸ்மாசிஸ் திறன் உயர்ந்து நீரிஇயல் திறன் குறையத் தொடங்குகிறது. இந்த நீரிஇயல்திறன் தாழ்வு, நீரை உறிஞ்ச உதவும் செயற் கூறாகச் செயல்படுகிறது. இதன் விளைவால் முழு வேர்ப்பகுதியும் ஒரு ஆஸ்மாசிஸ்சார்பு அமைப்பாகச் செயலபடத் தொடங்குகிறது. அதாவது வேர்த் திசுவின் செல்கள் அனைத்தும்

ஒன்று சேர்ந்து ஆஸ்மாசிஸ்சார்பு அமைப்பு ஒன்றில் உள்ள சவ்வு போல் செயல்படுகின்றன. இதனால் நீர் உறிஞ்சப்பட்டு வேர் சைலத்தினுள் தோன்றும் ஒரு நேர்மறை அழுத்தமே வேர் அழுத்தமாகும்.

அதிக காற்று ஈரப்பசை கொண்ட சூழலிலும், நீர் சூழலிலும் வளரும் தாவரங்களிலும், குறைந்த நீராவிப்போக்கு வீதத்தைப் பெற்ற தாவரங்களிலும், குறிப்பாக சிறு செடிகளில், மட்டுமே வேர் அழுத்தம் உருவாகிறது.

உயிர்ப்பு உறிஞ்சுதலால் வேர் அழுத்தத்தை வெளிப்படுத்தும் தாவரங்கள், தங்களின் இலைவிளிம்புகளிலும் நுனிப்பகுதிகளிலும் உள்ள நரம்பு முடிவுகளின் வழி நீர்ம நீர்த்துளிகளை வெளியேற்றுகின்றன. இதற்கு நீர்க்கசிவு (guttation) என்று பெயர். டீரக்கீடுகளால் ஆன நரம்பு முடிவுகளில் உள்ள நீர்ச்சுரப்பிகள் (hydathodes) என்ற நீர்க்கசிவுத் துளைகள் மூலம் இந்த கசிதல் நிகழ்கிறது. விடிகாலைப் பொழுதில் புல் நுனிகளில் காணப்படும் பனித்துளிகள் நீர்க்கசிவினால் தோன்றிய நீர்மத்துளிகளாகும்.

1.3.2. உயிர்ப்பற்ற உறிஞ்சுதல் (Passive Absorption)

வறண்ட சூழலில் வளரும் தாவரங்களில் நீராவிப்போக்கின் அளவு அதிகமாக இருப்பதால் நீர் துரிதமாக இலைகளுக்குக் கடத்துப்பட்டு வளிமண்டலத்தில் இழக்கப்படுகிறது. இந்த நிலையில் தாவரத்தின் சைலத்தினுள் நேர்மறை அழுத்தம் எதுவும் தோன்ற வாய்ப்பில்லை. எனவே, வேர், அழுத்தம் உண்டாவதில்லை. மாறாக, நீராவிப் போக்கினால் ஓர் இழுவிசை உண்டாகிறது. இந்த இழுவிசை இலை சைலத்திலிருந்து வேர் சைலம் நோக்கி பரவலடைகிறது. இது ஒரு எதிர்மறை நீர்ம அழுத்தமாகும் (negative hydrostatic pressure). இதன் விளைவால் முழு வேர்ப்பகுதி ஒரு ஆஸ்மாசிஸ்சார் அமைப்பைப் போல் செயல்படாமல் மொத்த ஓட்டத்தின் மூலம் உயிர்பற்ற முறையில் நீரை உறிஞ்சிக் கொள்ளும் ஒரு அமைப்பாக செயல்படுகிறது. அதாவது, வேர் நீரைத் தானே உறிஞ்சுவதற்குப் பதிலாக உறிஞ்ச வேண்டிய கட்டாயத்திற்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. இதனால் ஏற்படும் நீர் உறிஞ்சு செயலுக்கு உயிர்ப்பற்ற உறிஞ்சுதல் என்று பெயர். உயர்ந்து வளரும் தாவரங்களிலும், நீராவிப்போக்கினை வேகமாக நடத்தும் பல தாவரங்களிலும் இச்செயலின் மூலம் அதிக அளவு நீர் உறிஞ்சப் படுகிறது

1.4. டிரக்கீடுகளிலும் வெசல்களிலும் நீர் கடத்தப்படுதல் (Water Conduction in Tracheids and Vessels)

வேர்த்தூவிகளால் உறிஞ்சப்பட்ட நீர் வேர் சைலத்தை அடைந்ததும் அங்கிருந்து சைலத்தின் வழியாக தாவரத்தின் நீள் அச்சுவாக்கில் நீண்டதூரத்திற்குக் கடத்தப்படுகிறது. இந்த நீர் நிலத்திலிருந்து மிகக் சிக்கலான மூன்று வகை வழிப்பாதைகள் மூலம் ஆரப்போக்கில். வேர்த்தூவிகளிலிருந்து கடத்தப்பட்டு வேர் சைலத்தை அடைகிறது. ஆனால், சைலத்தில் இது குறைவான தடை ஒட்டத்துடன் மிக எளிதில் கடத்தப்படுகிறது.

1.4.1. நீர் கடத்தும் செல்களின் அமைப்பு

சைலத்தின் நீர் கடத்தும் செல்கள், திறம்பட்ட முறையில் அதிக அளவில் நீரைக் கடத்துவதற்கு ஏற்றவாறு உள்ளமைப்புப் பண்புகளைப் பெற்றுள்ளன. சைலத்தின் இரண்டு முக்கிய டிரக்கிய அங்கங்களாகிய (trachieary elements) டிரக்கீடுகளும் வெசல் அங்கங்களும் இந்த நீர் கடத்தும் செல்களாகும். இவற்றுள் வெசல் அங்கங்கள் ஆஞ்ஜியோஸ் பெர்மகளிலும், ஜிம்னோஸ்பெர்ம்களின் நீட்டேலிஸ் வரிசையிலும் ஒரு சில பெரணித் தாவரங்களிலும் காணப்படுகின்றன. டிரக்கீடுகள் ஆஞ்ஜியோஸ்பெர்ம்கள் உட்பட அனைத்து வாஸ்குல தாவரங்களிலும் காணப்படுகின்றன.

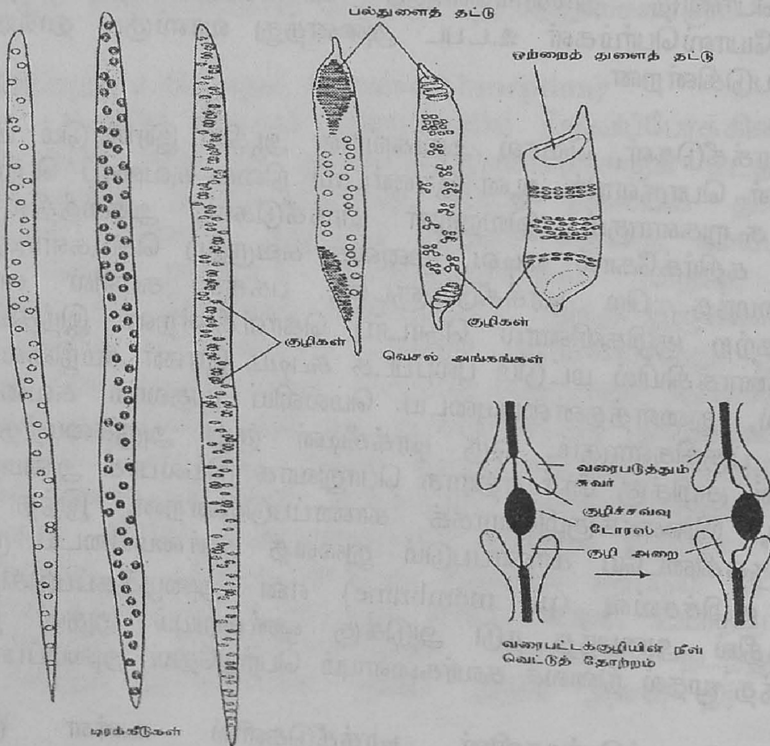
டிரக்கீடுகள், வெசல் அங்கங்கள் ஆகிய இரண்டும் உள்ளீடற்ற, லிக்னின் பொருளால் ஆன இரண்டாம் நிலை சுவரைப் பெற்ற, இறந்த செல் கூறுகளாகும். இவற்றுள் டிரக்கீடுகள், அகலத்தில் குறுகிய, நீண்ட, கதிர்க்கோல் வடிவ, முனைச் சுவருற்ற செல்களாகும். இவை அருகமைந்த பிற டிரக்கீடுகளுடன், பக்கச் சுவரில் காணப்படும் கணக்கற்ற குழிகளினால் தொடர்பு கொள்கின்றன. இந்தக் குழிகள் நுண்ணோக்கியில் மட்டும் புலப்படக் கூடிய, இரண்டாம்நிலைச் சுவரற்ற ஆனால், துளைத்தன்மையுடைய மெல்லிய முதலாம் சுவரை மட்டும் பெற்ற பகுதிகளாகும். ஒரு டிரக்கீடின் குழி அருகமைந்த டிரக்கீடு ஒன்றின் குழிக்கு நேர் எதிராக பொதுவாக இயல்பாக அமைந்துள்ளன. எனவே, இணைக்குழிகளாகக் காணப்படுகின்றன. இந்த இணைக் குழிகளுக்கிடையே காணப்படும் துளைத் தன்மையுடைய முதல்நிலை சுவர், குழிச்சவ்வு (pit membrane) என அழைக்கப்படுகிறது. இது மையத்தில் அமைந்த நடு அடுக்கு ஒன்றையும் அதன் இருபுறமும் அமைந்த முதல் நிலைச் சுவர்களையும் பெற்றதோர் அமைப்பாகும்.

ஜிம்னோஸ்பெர்மகளின் டிரக்கீடுகளில் உள்ள குழிச்சவ்வு மையத்தில் டோரஸ் (torus) என்ற ஒரு தடிப்பைப் பெற்றுள்ளது. குழியினை வரைப்படுத்தும் சுவர்களில் படிந்து அதனை மூடும் வால்வு ஒத்த அமைப்பாக இது செயல்படுகிறது. குழிச்சவ்வின் இச்செயல்

அருகமைந்த டிரக்கீடுகளிலிருந்து காற்றுக் குமிழ்கள் உட்புகாதவாறு தடுக்க உதவுகிறது.

வெசல் அங்கங்கள் டிரக்கீடுகளைவிடக் குட்டையான, ஆனால் அகன்ற, செல்களாகும். பொதுவாக இவற்றின் இரு முனைகளில் துளைத்தட்டுடைய (perforation plate) நுனிச் சுவர்கள் காணப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு தட்டிலும் தாவரத்திற்கேற்ப ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட துளைகள் காணப்படுகின்றன. டிரக்கீடுகள் நீள் அச்சில் ஒன்றையொன்று தழுவிய நிலையில் அடுக்கப்பட்டுள்ளன. ஆனால், வெசல் அங்கங்கள் ஒன்றன் மேல் ஒன்றாக முனைச்சுவர்களால் ஒட்டிய நிலையில் அடுக்கப்பட்டுள்ளன. இதனால் நீண்டதொரு குழல் போன்ற ஓர் அமைப்பு உருவாகிறது. இதற்கு வெசல் (vessel) என்று பெயர். திறவுற்ற துளைகளால் ஆன வெசல் அங்கங்களின் நுனிச்சுவர்கள் குறைவான ஒட்டத் தடையினை ஏற்படுத்துகின்றன. எனவேதான் வெசல்கள் திறம்பட நீரைக் கடத்த முடிகிறது (படம்—4).

படம்—4



1.4.2. நீர் கடத்தப்படுதலின் செயல் இயக்க முறை

வேர்சைலத்தின் வழியாக நீர் கடத்தப்படுதல் அழுத்த வாட்டத்தின் மூலம் நிகழும் மொத்த ஓட்டமாகும். இந்த ஓட்டத்தினை நிருணயிப்பதில் சைலத்தில் உள்ள டிரக்கிய அங்கங்களின் விட்டம், கடத்தப்படும் நீரின் குழைமத்தன்மை, கடத்தல் நிகழ வேண்டிய தூரம் ஆகிய மூன்றிற்குமிடையே உள்ள தொடர்பு முக்கியப் பங்காற்றுகிறது. இதனை ஜே.எஸ். பாய்சில்லி என்ற பிரஞ்சு நாட்டு இயற்பியல், வாழ்வியல் அறிஞர் எடுத்துக் கூறியுள்ளார். இந்தத் தொடர்பின் அடிப்படையில் அவர் அமைத்த சமன்பாட்டைக் கொண்டு கணக்கிடும் போது 40 மைக்ரோமீட்டர் (40: m) விட்டம் கொண்ட டிரக்கிய அங்கம் (வெசல் அல்லது டிரக்கீடு) ஒன்றில் ஒரு நொடியில் 4 மி.மீ உயரத்திற்கு நீரை உயர்த்த 0.002 மெகா பாஸ்கல் அழுத்த வாட்டம் தேவைப் படுகிறது எனத் தெரிகிறது.

ஆனால் செல் அடுக்கு ஒன்றில் இதே போல் ஒரு நொடியில் 4 மி.மீ தூரத்திற்குச் சவ்வின் வழியாக நீர் கடத்தப்படுவதற்குத் தேவைப்படும் செயலூக்க விசை மேற் கூறப்பட்ட அழுத்தவாட்ட அளவைப்போல் பத்து மடங்கு அதிகமானது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. நீர் கடத்தப்படும் போது சைலம் மிகக் குறைந்த அளவிற்கு ஓட்டத்தடையை ஏற்படுத்துவதே இதற்குக் காரணமாகும். எனவேதான் ஆஸ்மாசிஸ்சார்பு ஓட்டத்தைப் போல் அல்லாமல் குறைவான அழுத்த வாட்டத்தில் தடையின்றி நீரைக் கடத்த சைலத்தால் முடிகிறது.

நிலத்தின் அருகமைவுக்கும் மரத்தின் உச்சிக்கும் இடையே காணப்படும் அழுத்த வேறுபாடு நீர் இடப்பெயர்விற்குக் காரணமாகும். 100 மீட்டர் உயரம் வரை வளரும் மரத்தாவரமாகிய செக்கோயா செம்பெர்வைரென்ஸ் (*Sequoia sempervirens*) போன்ற தாவரங்களில் ஓட்ட உராய்வினால் ஏற்படும் பின்னடைவைச் சமாளிக்க ஏதுவாக மிக அதிக அளவிலான அழுத்த வேறுபாடு தேவைப்படுகிறது. இது 2 மெகா பாஸ்கல் அளவுடையது எனக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. உராய்வினால் ஏற்படும் தடையுடன் புவிஈர்ப்பு விசையினையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டால் இந்த அளவு 3 மெகா பாஸ்கல் என அளவிடப்படுகிறது. 100 மீட்டர் உயரத்தில் நிற்கும் நீர்த்தம்பத்தின் எடையால் உருவாகும் அழுத்தமாகிய ஒரு மெகா பாஸ்கலையும் சேர்த்து இது கணக்கிடப் படுகிறது.

ஒரு மரத்தின் நடுத்தண்டில் நீர் கடத்தப்படுதலின் இயக்க வேகம் (velocity), மரத்தின் வகை, நீராவிப்போக்கிற்கு ஏற்ப சைலத்திற்குத்

தேவைப்படும் திறன் வெளிப்பாடு ஆகியவற்றைச் சார்ந்துள்ளது. அதிக விட்டமுடைய (100 to 200: m) வெசல் அங்கங்களைப் பெற்ற மரங்களின் உயர்ந்த அளவு இயக்கவேகம் மணிக்கு 16 முதல் 45 மீட்டர் என அளவிடப்பட்டுள்ளது. இதுவே குறைவான விட்டமுடைய (25 to 75: m) வெசல் அங்கங்களைப் பெற்ற மரங்களுக்கு, மணிக்கு 1 முதல் 6 மீட்டர் என அளவிடப்பட்டுள்ளது.

நீரைக் கடத்துவதற்குத் தேவைப்படும் இந்த அழுத்த வேறுபாடு தாவரங்களில் இரு வழிகளில் உருவாகிறது: (i) சில தாவரங்களில் வேர் அழுத்தம் என்ற நேர்மறை நீர்ம அழுத்தம் அடியில் தோன்றி நீர் ஏற்றம் நிகழ உதவுகிறது. ஆனால் இது 0.1 மெகா பாஸ்கலுக்கும் குறைவாகவே உள்ளது. எனவே, 3 மெகா பாஸ்கல் அளவு அழுத்தம் தேவைப்படும் அதிக உயரத்திற்கு வளரும் மரத்தாவரங்களில் நீரை ஏற்ற இது போதுமானதல்ல, எனவே, குறைவான நீராவிப்போக்கைக் கொண்ட, ஈரப்பதமான சூழலில் வளரும் மிகச்சிறிய செடிகளில் மட்டுமே வேர் அழுத்தத்தினால் நீர் ஏற்றம் நிகழ்வது சாத்தியமாகும். (ii) வேகமாக நீராவிப்போக்கை மேற்கொள்ளக் கூடிய உயர்ந்த மரத்தாவரங்களில் நீராவிப்போக்கின் இழுவிசையால், தாவரத்தின் உச்சியில் உள்ள இலைகளில் ஓர் எதிர்மறை நீர்ம அழுத்தம் தோன்றுகிறது. தாவரத்தின் சைலத்தில் காணப்படும் தொடர்ச்சியான நீர் தம்பத்தை மேல் நோக்கி உயர்ந்த இந்த எதிர்மறை நீர்ம அழுத்தம் உதவுகிறது. இது கூட்டிணைவுக் கோட்பாடு (cohesive hypothesis) என அழைக்கப்படுகிறது. இதனை முன் வைத்தவர்கள் டிக்சன், ஜோலி (Dixon and Jolly) ஆகிய இருவராவர்.

தொடர்ச்சியான நீர்த்தம்பம் தாவரத்தினுள் காணப்பட்டால் மட்டுமே இக்கோட்பாட்டின்படி நீரேற்றம் நிகழ முடியும். இதற்கு நீர் மூலக்கூறுகளின் ஒட்டிணைவு, கூட்டிணைவு ஆகிய இரு பண்புகள் மிகவும் உதவுகின்றன. நீர் மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஹைட்ரஜன் பிணைப்புக் காணப்படுவதால் நீருக்கு மிகையான ஒட்டிணைவுப்பண்பு ஏற்படுகிறது. அத்துடன் நீர் மூலக்கூறுகளுக்கும் நீர் கடத்தும் சைலம் செல்களின் சுவர்களுக்குமிடையே நிகழும் ஈர்ப்பிணைவு, அதாவது கூட்டிணைவு விசையும் உயர்வானதாக உள்ளது.

தாவரத்தினுள் சைலம் அச்சு ஒரு வலைப் பின்னலமைப்பில் உள்ள உருளையாக இருப்பதால், அங்கு உள்ள நீர்த்தம்பம் நீண்ட ஒற்றைத் தம்பமாக இல்லாமல் வலைபோல் பின்னப்பட்ட தம்பமாக உள்ளது. ஏதாவது ஓர் இலக்கில் காற்று இடைவெளி தோன்றினாலும் தம்பத்தின் தொடர்ச்சி துண்டிக்கப்படுவதில்லை. மேற்கூறிய அனைத்துப் பண்புகளும் நீரேற்றத்திற்குச் சாதகமான பண்புகளாக உள்ளன.

1.5. நீராவிப்போக்கு (Transpiration)

வளிமண்டலத்துடன் தொடர்புடைய தாவரப் பகுதிகளிலிருந்து அதன் உறுப்புகளில் உள்ள நீர்மநிலை நீர், நீராவியாக வெளியேறும் நிகழ்ச்சிக்கு நீராவிப்போக்கு என்று பெயர். இது இலைத்துளைகள், கியூட்டிகிள், பட்டைத்துளைகள் (lenticels) முதலியவற்றின் வழியாக இது நிகழ்கிறது.

நிலத்திலிருந்து தாவரத்தின் வழியாக இடம்பெயரும் நீரில் பெரும்பகுதி நீராவியாக வெளியேற்றப்படுகிறது. என்ற உண்மையை ஹான்க்ஸ் (Hanks) என்பவர் 1974–ஆம் ஆண்டில் சோளத் தாவரத்தின் செய்த சோதனைகள் மூலம் கண்டறிந்தார். சோளத் தாவரம், ஒரு கிலோ உலர் தழைவழி எடையை உருவாக்கிக் கொள்ள 225 கிலோ கிராம் நீரையும், அதே போல் ஒரு கிலோ உலர் விதை எடையை உருவாக்க 600 கிலோ கிராம் நீரையும் வெளியேற்ற வேண்டி யுள்ளது என்ற இவரது கண்டுபிடிப்பு இதனை உறுதிசெய்துள்ளது. மொத்தத்தில் உள்ளெடுக்கப்படும் நீரில் சராசரியாக 1% மட்டுமே புரோட்டோபிளாச உற்பத்திக்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இவை மாதிரிக்காக செய்த ஒரு சோதனையின் மூலம் பெறப்பட்ட அளவீடுகள் ஆகும். ஆனால் இந்த அளவுகள் சிற்றினங்களுக்கு இடையே வேறுபடக்கூடியவை. இருப்பினும், தாவரங்கள் அவை உள்ளெடுத்துக் கடத்தும் நீரில் பெரும் பகுதியை நீராவிப்போக்கினால் இழக்கின்றன என்பதே உண்மை.

இவ்வாறு நிகழும் நீர் இழப்பில் ஏறத் தாழ 90 விழுக்காட்டிற்கு மேலான நீர் இழப்பு இலைவழி நீராவிப்போக்கின் மூலம், அதாவது இலைத் துளைகள் வழியாக, நிகழும் நீராவிப்போக்கினால் ஏற்படுகிறது. எனவே இந்த இலை வழி நீராவிப்போக்கின் இயக்க முறையையும், முக்கியத்துவத்தையும் அறிந்து கொள்ளுதல் மிகவும் இன்றியமை யாததாகும்.

1.5.1 இலைவழி நீராவிப்போக்கின் செயல் இயங்கு முறை

உயர் தாவரங்களின் உறுப்புகளில் இலைகள் மட்டுமே நீராவிப் போக்கைத் திறம்பட நடத்துவதற்கு ஏற்ற உள்ளமைப்புப் பண்புகளைப் பெற்றுள்ளன. இந்த நீராவிப்போக்கின் செயல் இயக்க முறையில் மூன்று நிலைகள் காணப்படுகின்றன. அவை:

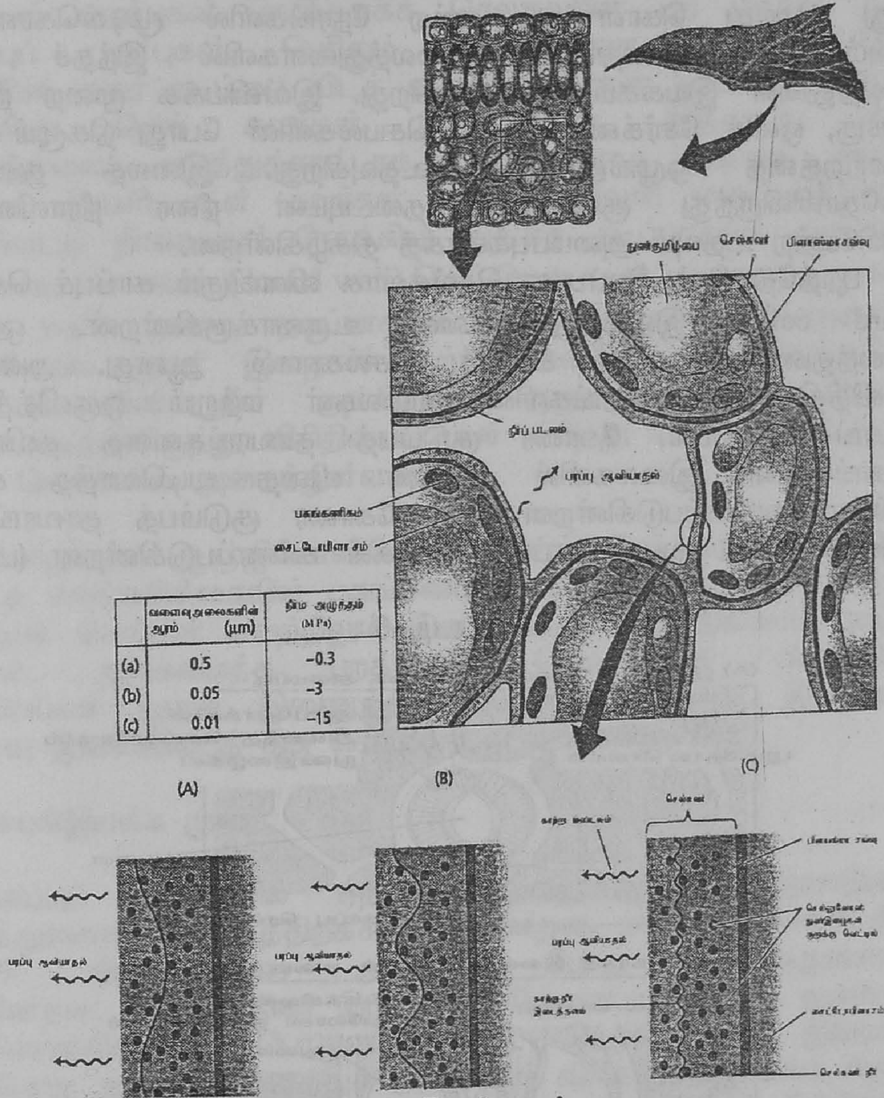
i) இலையின் காற்றறைகள் நீராவி மூலக்கூறுகளால் நிரப்பப்படுதல்;
ii) இலைத்துளைகளின் இயக்கம்;

iii) இலையிலிருந்து வளிமண்டலத்திற்கு நீர் நீராவி வடிவில் இடம்பெயர்தல்.

i). இலைக்காற்றறைகளை நீராவி மூலக்கூறுகள் நிரப்புதல்

சைலத்தின் வழியாக நீரை மேலே உயர்த்த தேவைப்படும் எதிர்மறை நீர்ம அழுத்தம் இலை செல்களின் சுவர்ப் பரப்பிலேயே உருவாகத் தொடங்குகிறது. இலையினுள் உள்ள காற்றறைகளையும் செல்லிடை வெளிகளையும் சூழ்ந்துள்ள பாரங்கைமா செல்களின் ஈரப்பதமான செல்சுவர்களின் பரப்பிலிருந்து நீர், ஆவிமூலக்கூறுகளாக வெளியேறும் போது இது நிகழத் தொடங்குகிறது. இந்தச் செல்களின் செல்சுவரை அமைக்கும் செல்லுலோஸ் நுண் இழைகளுக்கிடையே மிக நுண்ணிய துளைவெளிகள் காணப்படுகின்றன. இந்த நுண் இழைகளுக்கு நீர் விரும்பும் பண்பு இருப்பதால் இவற்றின் பரப்பில் நீர் மூலக்கூறுகள் ஈர்க்கப்படுகின்றன. எனவே, இவ்விழைகளுக்கிடையே உள்ள நுண்வெளியே நீர் நிரம்பிய பகுதிகளாகத் திகழ்கின்றன. காற்றறையினைச் சூழ்ந்து ஒரு மெல்லிய நீர் படலம் உருவாக இந்த நுண்வெளிகளே உதவுகின்றன. இந்நீர்படலத்திலிருந்து முதலில் நீர் ஆவியாகி நீர் மூலக்கூறுகளாகக் காற்றறையினுள் விடப்படுகிறது. இப்படலத்தில் காற்று–நீர் இவற்றிற்கிடையே அமைந்த அலை போன்ற இடைத்தளம் ஒன்று காணப்படுகிறது. நீருக்கு மிகையான பரப்பு இழுவிசை இருப்பதால் இந்த இடைத்தளத்தின் வளைவு அலை, தாவரத்தினுள் தோன்றக் கூடிய எதிர்மறை நீர் அழுத்தத்தை நிருணயிக்கிறது. நீர்ப்படலத்திலிருந்து அதிக அளவில் நீர் ஆவியாகி செல்சுவரை விட்டு அகலும்போது இந்த இடைவெளியின் வளைவு–அலைகளின் ஆரம் குறைந்து. நீர்ம அழுத்தம் அதிக எதிர்மறைத் தன்மை அடைகிறது (படம் – 5). இதனால் காற்றறைச் சூழ்ந்த செல்களின் செல்சுவர் இலை சைலத்திலிருந்து நீரை உள்ளீர்த்து, சைலத்தினுள் எதிர்மறை நீர்ம அழுத்தம் தோன்ற உதவுகிறது. இதுவே சாரேற்றத்திற்கு உதவும் அழுத்தமாகும். எனவே, இலைக்காற்றறைகளை நீராவி மூலக்கூறுகள் நிரப்பும் போதே இந்த எதிர்மறை அழுத்தமும் உருவாகிவிடுகிறது.

படம் –5



	வளைவு அலைகளின் ஆரம் (µm)	நீர்ம அழுத்தம் (MPa)
(a)	0.5	–0.3
(b)	0.05	–3
(c)	0.01	–15

ii). இலைத்துளையின் அமைப்பும் இயக்கமும்

அ) அமைப்பு:

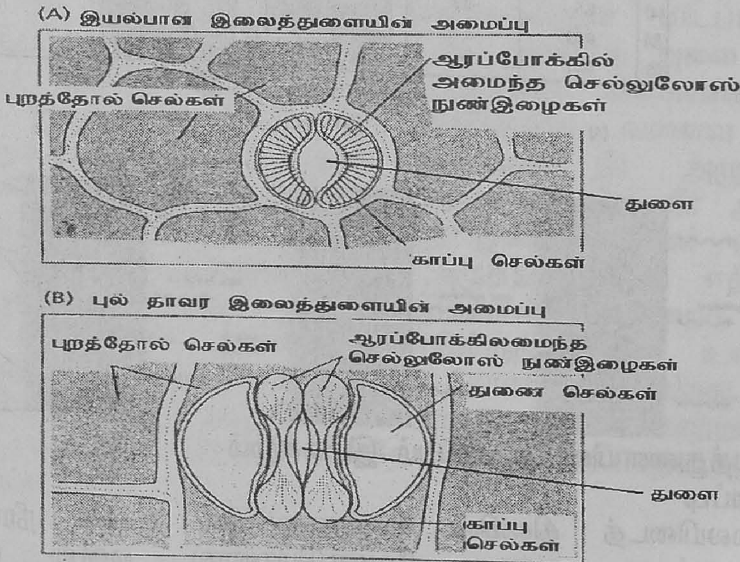
இலையிடைத் திசுவின் காற்றறைகளில் உள்ள நீராவியானது வளிமண்டலத்தை அடைய வேண்டுமானால், ஒன்று புறத்தோல் செல்களின் வெளிச் சுவர்பரப்பிலிருந்து பரப்பு ஆவியாதல் மூலம் நிகழ வேண்டும் அல்லது புறத்தோலில் காணப்படும் திறவுற்ற இலைத் துளைகள் மூலம் நடைபெறவேண்டும்.

தாவரங்களில் மிக அதிகஅளவு நீர் இழப்பு ஏற்படுவதைத் தடுக்க முதலில் பரப்பு ஆவியாதல் தடைசெய்யப்படுகிறது. இதற்குப் புறத்தோல் செல்களின் வெளிச் சுவரின் மேல் படிந்துள்ள கியூடிகிள் (cuticle) படலம் உதவுகிறது. இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்வதன் மூலம் நீர்

இழப்புத் தடுக்கப்படுகிறது. எனவே, இலைத் துளைகள் தேவைப்படும் போது திறந்து கொள்வதும் மற்ற நேரங்களில் மூடிக்கொள்வதும் மிகவும் தேவையானதாகும். இலைத்துளைகளில் இந்தச் செயல் இலைத்துளை இயக்கம் எனப்படுகிறது. இவ்வியக்க முறை நீராவிப் போக்கு, ஒளிச் சேர்க்கை ஆகிய செயல்களின் போது நிகழும் வளிப் பரிமாற்றத்தை ஒழுங்குபடுத்த உதவுகிறது. இலைத் துளைகள் புறத்தோலிலிருந்து குறைவான தடையுடன் நீரை நீராவிவடிவில் வெளியேற்ற உதவும் அமைப்புகளாகத் திகழ்கின்றன.

புறத்தோலின் சிறப்பான செல்களாக விளங்கும் காப்புச் செல்கள் (guard cells) இலைத்துளைகளை உருவாக்குகின்றன. ஒவ்வோர் இலைத்துளையும் இரு காப்புச் செல்களால் ஆனது. அனைத்து இருவித்திலைத் தாவரங்களின் இலைகள் மற்றும் ஒருவித்திலைத் தாவரங்களில் புல், கோரை குடும்பத் தாவரங்களைத் தவிர பிற தாவரங்களின் இலைகளில் அவரை விதை வடிவொத்த காப்புச் செல்கள் காணப்படுகின்றன. புல், கோரை குடும்பத் தாவரங்களில் சப்பளாக்கட்டை வடிவ காப்புச் செல்கள் காணப்படுகின்றன (படம் – 6).

படம் –6



இலைத்துளைக் கூட்டமைப்பிற்குக் காப்புச் செல்களை அடுத்துள்ள சிறப்புவகை புறத்தோல் செல்கள் சிலவும் உதவுகின்றன. சிறப்பான இந்தச் செல்களுக்குத் துணை செல்கள் (subsidiary cells) என்று பெயர். இவற்றின் எண்ணிக்கை, அமைந்திருக்கும் பாங்கு போன்றவை தாவரக் குடும்பத்திற்கு ஏற்ப மாறுபடுகின்றன. சில தாவரங்களில் காப்புச் செல்களை அடுத்து இயல்பான புறத்தோல் செல்களே உள்ளன. துணை செல்கள் இருப்பதில்லை.

இலைத் துளைகளின் இயக்கத்திற்குக் காப்பு செல்களின் செல்லியல் பண்புகள், குறிப்பாகச் செல்சுவரின் புற மற்றும் நுண் அமைப்புப் பண்புகள், பெரிதும் உதவுகின்றன. பிற புறத்தோல் செல்களின் சுவர் தடிப்பை விடச் சற்று அதிகமான தடிப்பைக் காப்புச் செல்களின் செல் சுவர்கள் பெற்றுள்ளன. இத்தடிப்பு சீராக இருப்பதில்லை. எடுத்துக்காட்டாக, அவரைவிதை வடிவக் காப்புச் செல்லின் வெளி, உள் சுவர்கள் முறையே (வெளி மண்டலத்தையும் இலையிடைத் திசுவையும் நோக்கிய) அதிகத் தடிப்பாகவும் துளைக்கு அப்பால் உள்ள சுவர் (dorsal wall) மெல்லியதாகவும், துளைசூழ்ந்த சுவர் (ventral wall) ஓரளவு தடிப்பாகவும் உள்ளன. சுவர் பொருளாகிய செல்லுலோஸ் நுண் இழைகள் மற்ற செல்களில் அமைந்திருப்பது போல் செல்லின் நீள் அச்சிற்குக் குறுக்காக அமைந்திராமல், துளைப்பக்கத்திலிருந்து விசிறியைப்போல் விரிந்து செல்லும் விதத்தில் காப்புச் செல்களில் அமைந்துள்ளன.

பொதுவாக, ஆஞ்ஜியோஸ்பெர்ம தாவரங்களின் காப்பு செல்களில் குறைந்த எண்ணிக்கையில் பசுங்கணிகங்கள் காணப்படுகின்றன. பிற புறத்தோல் செல்கள் எவற்றிலும் இவை காணப்படுவதில்லை. காப்புச் செல்கள், அருகமைந்த புறத்தோல் செல்களுடன் பிளாஸ்மோ டெஸ்மாக்கள் மூலம் இணைந்திருப்பதில்லை. ஆனால், இத்தகைய இணைவு இலையிடைத் திசு செல்களுடன் காணப்படுகிறது.

ஆ) செயல்இயக்க முறை:

காப்புச் செல்களில் ஏற்படும் விறைப்பழுத்த மாறுபாடுகளே இலைத்துளைகளை மூடித்திறக்க உதவுகின்றன. காப்புச் செல்கள் நீரை உறிஞ்சி விறைப்புநிலை அடையும் போது இலைத்துளைகள் திறக்கின்றன. மாறாக, நீரை இழந்து நெகிழ்வடையும் போது துளைகள் மூடிக்கொள்கின்றன. பொதுவாக, ஒரு செல்விறைப்பு நிலையில் உள்ளபோது அதன் அனைத்துச் சுவர்களும் விரிவடைந்து செல் சீராகப் பெருக்கமடைகிறது. ஆனால், அவ்வாறு நிகழாமல் காப்புச் செல்களில் துளைக்கு அப்பால் உள்ள குவிந்த சுவர்மட்டும் நீள்வாக்கில் விரிவடைவதால், அவை துளையை நோக்கி பெருக்கமடையாமல் துளைக்கு எதிர்புறமாக பெருக்கமடைகின்றன. இந்நிலையில் காப்புச் செல்களின் செல்லுலோஸ் நுண் இழைகள், துளை சூழ்ந்த உட்சுவரையும் சேர்த்து இழுப்பதால் இலைத்துளை திறக்கிறது.

புல் இனங்களில் உள்ள சப்பளாக்கட்டை வடிவ காப்புச் செல்கள் விறைப்பு நிலை அடையும் போது பருத்த முனைகளின் கொள்ளளவு அதிகரித்துப் பெருக்கமடைகின்றன. இதனால் இரு காப்புச் செல்களின்

பருத்த முனைகளுக்கு இடைப்பட்ட உருளைவடிவ அச்சுகள் விலகி இலைத்துளை திறக்கிறது.

இ). காப்புச் செல்களில் நிகழும் விறைப்பழுத்த மாறுபாட்டை விளக்கும் கோட்பாடுகள்

காப்புச் செல்களின் இயக்கத்திற்கு அவற்றில் உண்டாகும் விறைப்பழுத்த மாறுபாடுகளே காரணமாகும் என்பதை 1856ல் ஃபான் மோல் (Von Mohl) என்ற தாவரவியல் அறிஞர் முதன் முறையாகக் கண்டறிந்தார். புறச்சூழல் காரணிகளான ஒளியின் செறிவு, ஒளியின் தன்மை, வெப்ப நிலை, ஒப்பு ஈரப்பதம் போன்றவையும், தாவரக் காரணிகளான செல் இடைவெளிகளின் CO_2 செறிவு, பொட்டாசிய அயனிப் பரிமாற்றம், அப்சிசிக் அமிலம் போன்ற பல்வேறு காரணிகளும் ஏற்படுத்தும் தூண்டல்களுக்கு ஏற்ப உணர்திறன்மிக்க, நீர் சார்பு இயக்க வால்வுகளாகக் காப்புச் செல்கள் செயல்படுவதால் இந்த விறைப்பழுத்த மாறுபாடுகள் உருவாகின்றன.

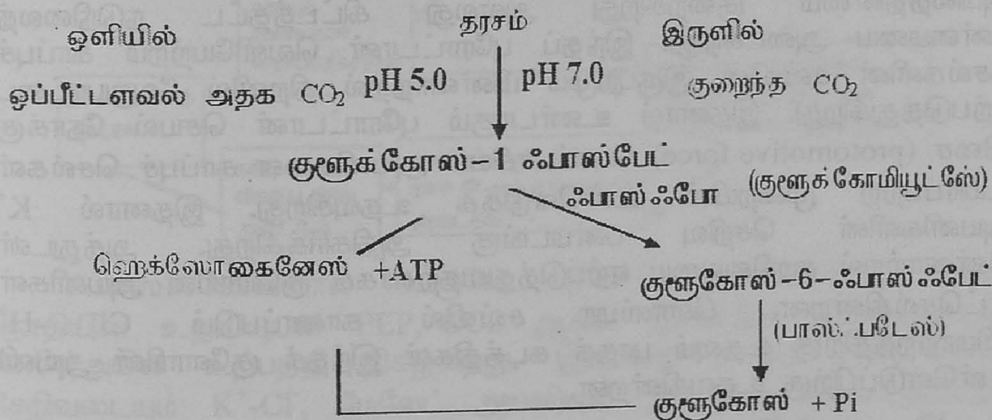
இதனை விளக்குவதற்கு இருபதாம் நூற்றாண்டின் தொடக்கம் முதல் அண்மைக் காலம் வரை பல்வேறு கோட்பாடுகள் தரப் பட்டுள்ளன. இவற்றைக் கீழ்க்கண்ட இரு தலைப்புகளில் பிரித்துப் படித்தறிவது எளிது.

i) பழைய கோட்பாடுகள்

தாவரவியல் வல்லுநர்கள் 20ஆம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் செய்த ஆய்வுகள் அனைத்தும், காப்புச் செல்களில் காணப்படும் ஆஸ்மாசிஸ் வரன்முறையை மையமாக மேற்கொள்ளப்பட்டவையாகும். இதற்கு சிறந்ததோர் எடுத்துக்காட்டு லாயிட் (Lloyd) என்பவர் தந்த தரசம் ↔ சர்க்கரை இடைமாற்றக் கோட்பாடாகும். தரசம் ↔ சர்க்கரை இடைமாற்றமே காப்புச் செல்களில் விறைப்பழுத்த மாறுபாடுகள் தோன்றக் காரணம் என்பதை இவர் கண்டறிந்தார். pH உயர்வும் மற்றும் ஒளியும், காப்புச் செல்களின் தரசத்தைச் சர்க்கரையாக மாற்ற உதவுகின்றன என்பது இவரது கருத்து. கரையும் தன்மையுடைய சர்க்கரை ஆஸ்மாசிஸ் செயலூக்கப் பொருளாக இருப்பதால் காப்புச் செல்களில் ஆஸ்மாசிஸ் நிகழ்ந்து நீர் உள்ளெடுக்கப்படுகிறது. இதனால் விறைப்பழுத்தம் அதிகரித்து இலைத்துளைகள் திறக்கின்றன. மாறாக, இருளும் குறைவான pH–உம் சர்க்கரையை மீண்டும் தரசமாக மாற்ற உதவுகின்றன. இந்நிலையில் காப்புச் செல்கள் நீரை இழந்து நெகிழ்வு நிலை அடைவதால் விறைப்பழுத்தம் குறைந்து இலைத் துளைகள் மூடிக்கொள்கின்றன. இந்தச் செயல்பாடுகளைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் குறிப்பிடலாம்.

ஒளி, pH அதிகரிப்பு
தரசம் + pi ——————→ குளுகோஸ்–1
இருள், குறைவான pH ஃபாஸ்ஃபேட்
(கரையாப் பொருள்) (கரையும் பொருள்)

தரசம், தனிம ஃபாஸ்பேட் போன்றவற்றின் உதவியால் உருவாகும் குளுக்கோஸ்–1 ஃபாஸ்பேட் காப்புச் செல்களில் ஆஸ்மாசிஸ் செயலை ஒழுங்குபடுத்த உகந்தது அல்ல என்பதை 1964–இல் ஸ்டீவார்ட (Steward) என்பவர் கண்டறிந்தார். மாறாக, இதிலிருந்து ஃபாஸ்ஃபேட் அகன்று குளுக்கோஸ் தனித்து விடப்படும் போது மட்டுமே ஆஸ்மாசிஸ் செயல் நிகழமுடியும் என்பதையும், இந்த ஃபாஸ்ஃபேட் நீக்கம் குளுக்கோஸ்–1 ஃபாஸ்ஃபேட், குளுக்கோஸ்–6– ஃபாஸ்ஃபேட்டாக மாறிய பின்னரே நிகழ முடியும் என்பதையும் இவர் கண்டறிந்தார். அத்துடன் ஒளிச்சேர்க்கைச் செயலில் காப்புச் செல்களில் CO_2 செறிவு குறைவதால் அதில் pH உயர்ந்து (அமிலத்தன்மை குறைந்து) தரசம் சர்க்கரையாக மாறுகிறது என்ற உண்மையை இவர் கண்டறிந்தார். இதற்கான நொதிகள் யாவும் காப்புச் செல்களில் காணப்படுவதாகவும் இவர் கருதினார். இக்கோட்பாட்டின் திட்ட வரைவு பின்வருமாறு:



ii) அண்மைக்காலக் கோட்பாடுகள்

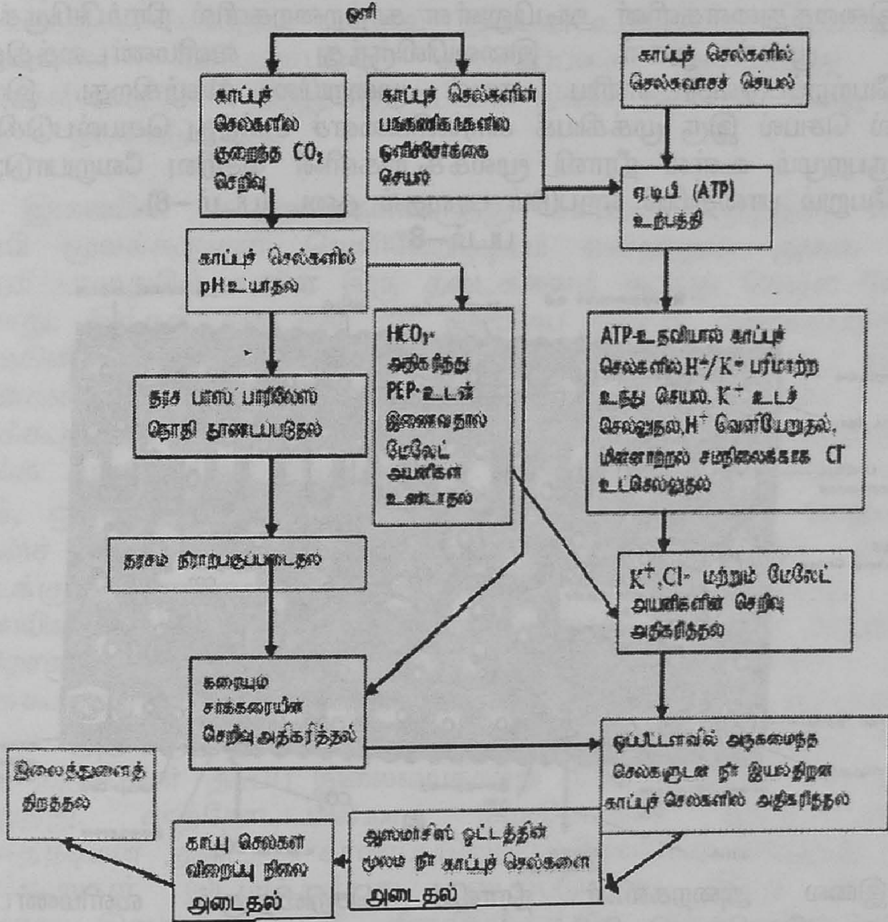
காப்புச் செல்களில் K^+ அயனிகளின் உள்–வெளி ஓட்டம் நிகழ்கிறது என்ற இமானுரா (Imanura) என்பவரது கண்டுபிடிப்பு (1960) வருவதற்கு முன்பு வரை ஸ்டீவார்டின் கோட்பாடு பரவலாக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டு வந்தது. ஆனால் மிக அண்மைக் காலத்தில் ஃபியூஜினோவும் (Fujino) ஃபிஷரும் (Fisher) செய்த ஆய்வுகள் காப்புச் செல்களின் ஆஸ்மாசிஸ் செயலூக்கத்தை ஒழுங்குபடுத்த K^+ அயனிகள் முக்கியப் பங்காற்றுகின்றன என்பதை உறுதி செய்தன.

இந்தக் கண்டுபிடிப்பின் அடிப்படையில் உருவாக்கப்பட்ட கோட்பாடு ATP–உதவியுடன் நிகழும் புரோட்டான்(H^+) c K^+ அயனிப்பரிமாற்ற உந்து செயல் கோட்பாடு எனப்படுகிறது. இக்கோட்பாட்டின் படி போதுமான நீரைப் பெற்ற இயற்கைச் சூழலில் வளரும் தாவரங்களின் இலைகளில், இலைத்துளைகளின் இயக்கத்தை ஒழுங்குபடுத்தும் காரணியாக ஒளி திகழ்கிறது. எனவே, விழும் ஒளியின் பாய்வு அதிகரிக்கும் போது இலைத்துளைகள் திறப்பதும், குறையும் போது மூடிக்கொள்வதும் நிகழ்கின்றன. நிகழ் ஒளியின் நிரல் நிறமாலையில் ஊதா நிறக்கதிர்களுக்குக் காப்புச் செல்கள் எதிர் உணர்வினை வெளிப்படுத்தும் விதமாக அவற்றின் புரோட்டோபிளாஸ்ட் பருத்து, விறைப்பு நிலை அடைகின்றது என இக்கோட்பாடு விளக்குகிறது.

காப்புச் செல்களின் புரோட்டோபிளாஸ்டுகள் ஊதா கதிர்வீச்சிற்கு உட்படுத்தப்படும் போது, காப்புச் செல்கள் அதிக அமிலத்தன்மை அடைவதை இந்த அறிவியல் அறிஞர்கள் கண்டறிந்தனர். இதற்குக் காப்புச் செல்களிலிருந்து H^+ அயனிகள் வெளியேற்றப்படுவதே காரணமாகும். ஊதாக் கதிர்களால் செயலூக்கமடையும் ATP ase என்ற நொதியே புரோட்டான்களை உந்தி வெளியேற்ற உதவுகின்றன. இதனால் வெளி ஊடகத்தின் pH குறைந்து அது அமிலத்தன்மை அடைகிறது. அதே சமயம் காப்புச் செல்களின் pH உயர்ந்து அவற்றின் அமிலத்தன்மை குறைகிறது அல்லது கிட்டத்தட்ட நடுநிலைத் தன்மையை அடைகிறது. இந்தப் புரோட்டான் வெளியேற்றம் காப்புச் செல்களின் சவ்வின் இருபுறமும் மின்னாற்றல் திறனில் வேறுபாட்டை ஏற்படுத்துகிறது. இதனால் உண்டாகும் புரோட்டான் செயல் நோக்கு விசை (protomotive force) பொட்டாசியம் அயனிகளை காப்புச் செல்கள் உயிர்ப்பற்ற முறையில் உள்ளெடுக்க உதவுகிறது. இதனால் K^+ அயனிகளின் செறிவு பன்மடங்கு அதிகரிக்கிறது. அத்துடன் மின்னாற்றல் சமநிலையை ஏற்படுத்துவதற்காகக் குளோரின் அயனிகள் உட்செல்கின்றன. பிளாஸ்மா சவ்வில் காணப்படும் Cl^- -H^+ பரிமாற்றத்திற்கு உதவும் புரதக் கடத்திகள் இந்தக் குளோரின் அயனி உள்ளெடுப்பிற்கு உதவுகின்றன.

K^+ அயனிகள் உள்ளெடுக்கப்படும் போது மின்னாற்றல் சமநிலையைத் தக்கவைக்க உதவும் மற்றோர் அயனி மேலேட் அயனி என்பது தற்போது கண்டறியப்பட்டுள்ளது. ஒளிக்கு உட்படுத்தப்படும் காப்புச் செல்களில் உருவாகும் மேலிக் அமிலங்கள் அயனியாக்கம் அடைவதால் இந்த அயனிகள் உருவாகின்றன.

படம்-7



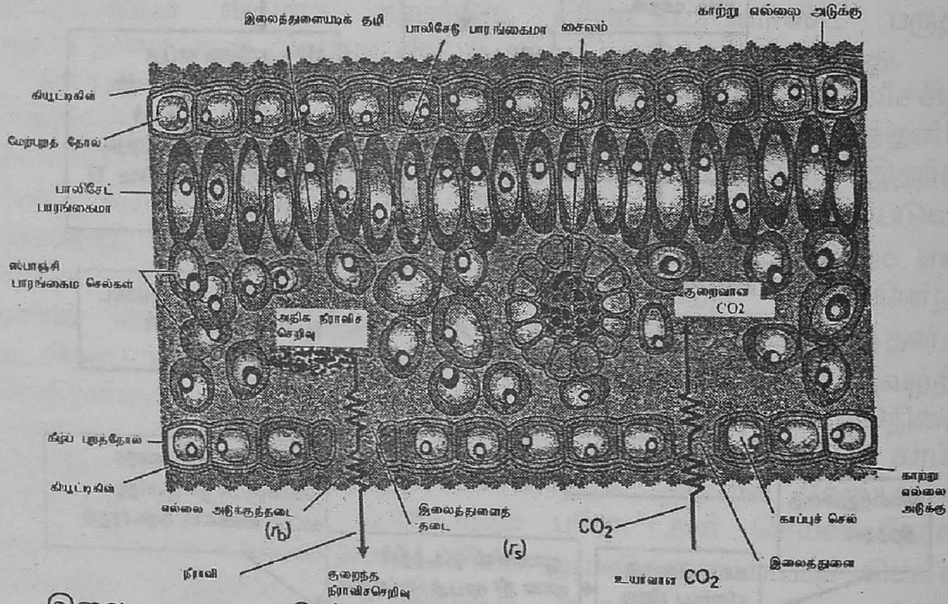
ஃபாஸ்ஃபோயினால் பைரூவேட் (PEP) கார்பாக்ஸிலேஸ் என்ற நொதியின் உதவியுடன் PEP, CO2 ஆகிய இரண்டும் இணைவதால் மேலிக் அமில உற்பத்தி நிகழ்கிறது. இவ்வாறு காப்புச் செல்களில் செறிவடையும் K^+-Cl^-, மேலேட் அயனிகள் ஆகிய மூன்றும் காப்புச் செல்களின் நீரியல் திறனைக் குறைக்க உதவுகின்றன. இதன் காரணமாக நீர் இயல்திறன் அதிகமுள்ள அருகமைந்த இலை செல்களிலிருந்து காப்புச் செல்கள் நீரை உறிஞ்சி விறைப்புநிலை அடைகின்றன. இது இலைத் துளைகளின் திறவிற்கு உதவுகிறது.

ஒளி இல்லாத இருள் பொழுதில் மேற்கூறிய நிகழ்ச்சிகளின் தலைகீழ் செயல்கள் நிகழ்ந்து இந்த மூன்று அயனிகளின் செறிவு குறைகிறது. எனவே காப்புச் செல்கள் நீரை இழந்து நெகிழ்வு நிலையை (flaccid state) அடைகின்றன. இதனால் இலைத்துளைகள் மூடப் படுகின்றன. இந்தக் கோட்பாடுகள் அனைத்தையும் ஒருங்கிணைத்துக் காட்டும் திட்டவரைவை படம்-7-இல் காணலாம்.

iii). இலையிலிருந்து வளிமண்டலத்திற்குள் நீர் இடம்பெயர்தல்.

இலைத்துளைகளின் அடியிலுள்ள காற்றறைகளில் நிரம்பியிருக்கும் நீராவி மூலக்கூறுகள் இலையிலிருந்து வளிமண்டலத்தினுள் வெளியேற்றப்படுவது எளிய பரவல் முறையில் நிகழ்கிறது. இந்தப் பரவுதல் செயல் இரு முக்கியக் காரணிகளைச் சார்ந்து செயல்படுகிறது. (1) இருபுறமும் உள்ள நீராவி மூலக்கூறுகளின் செறிவு வேறுபாடு; (2) வெளியேறும் பாதையில் ஏற்படும் பரவுதல் தடை (படம் –8).

படம் –8



இலை அறைகளின் நீராவிச் செறிவிற்கும் வளிமண்டலக் காற்றின் நீராவிச் செறிவிற்கும் உள்ள வேறுபாடு ஒரு முக்கியக் காரணியாகும். இலை அறைகளின் காற்றின் நீராவிச் செறிவு வளிமண்டலக் காற்றின் செறிவினை விடப் பெரும்பாலும் மிக அதிகமாகவே இருக்கும். இதற்குக் காரணம் இலையினுள் உள்ள காற்றறைகளின் கொள்ளளவு, நீரை ஆவியாக வெளியேற்றும் பரப்பைவிட மிகக் குறைவு. எடுத்துக்காட்டாக சோளத் தாவரத்தின் இலையின் மொத்தக் கொள்ளளவில், அதன் காற்றறைகள் அமைக்கும் கொள்ளளவு ஏறத்தாழ 30 விழுக்காடாகும். அதே சமயம், இலையின் மொத்த வெளிபரப்பில் இலையினுள் உள்ள நீரை ஆவியாக வெளியேற்ற உதவும் பரப்பு பன்மடங்கு அதிகமாகவுள்ளது. எனவே நீராவி மூலக்கூறுகள் நிரம்பிய காற்றறைகளின் நீரியல்திறன், அதனைச் சூழ்ந்துள்ள ஈரச் சுவரின் நீரியல்திறனுக்குச் சமமாகவே இருக்க வேண்டும் என்பதும், இது நிச்சயம் வளிமண்டலக் காற்றின் நீரியல் திறனைவிட மிக அதிகமாகவே இருக்கும் என்பதும் நியதி.

இந்த நீரியல்திறன் வாட்டம் எளிய பரவுதல் மூலம் நீராவி மூலக்கூறுகள் எளிதில் பரவுதல் அடைய உதவுகிறது. ஆனால், சில சூழல்களில் வளிமண்டலக் காற்றீரப்பசை அதிகரித்து இலை அறைகளின் நீரியல் திறனுக்கு ஒப்பான நிலை அடையும் போது இந்தப் பரவுதல் தடைபடுகிறது.

இலையின் காற்றறைகளிலிருந்து வளிமண்டலத்திற்கு எளிதில் நிராவி மூலக்கூறுகள் வெளியேறமுடியும் என்றாலும், அவை வெளி யேறும் பாதையில் உள்ள இரு தடைகளைக் கடந்து செல்ல வேண்டி யுள்ளது. இந்தத் தடைகள் நீர் இழப்பை ஒரளவு ஒழுங்குபடுத்தவும் உதவுகின்றன. (1) இலைத்துளைகள் மூலம் ஏற்படும் தடை: இலைத் துளைகள் திறவுற்ற நிலையில் இருந்தால் மட்டுமே நீராவி மூலக்கூறுகளின் பரவுதல் நிகழ முடியும். எனவே இலைத்துளையின் இயக்க முறையைத் தீர்மானிக்கும் காரணிகளான, ஒளியின் பாய்வு வீதம், ஒளியின் தன்மை, காப்பு செல்களின் pH, CO2 செறிவு, K^+ அயனிச் செறிவு ஆகியவை இலைத்துளைகள் மூலம் ஏற்படும் தடைக்கும் காரணமாக உள்ளன. (2) எல்லை அடுக்குத் தடை: இலையின் புறப்பரப்பையடுத்து, இடம்பெயராமல் இருக்கும் காற்றடுக்கு மற்றொரு தடையாகும். இவ்வடுக்கைக் கடந்துதான் நீராவி மூலக்கூறுகள் வளிமண்டலத்தினை அடைய வேண்டும். இத்தடைக்கு எல்லை அடுக்குத் தடை (boundary layer resistance) என்று பெயர். இந்த அடுக்கின் தடிப்பு இலையைச்சுற்றி வீசும் காற்றின் வேகத்தைப் பொறுத்து. காற்றோட்டமில்லாத சூழ்நிலையில் இந்த அடுக்கு அதிகத்தடிமன் அடைந்து காணப்படுவதால் இலைப்பரப்பிலிருந்து நீராவி மூலக்கூறுகள் இடம்பெயர்வது தடைப்படுகிறது. இந்த நிலையில் திறவுற்ற இலைத்துளைகள் நீராவிப்போக்கில் எந்த விளைவையும் ஏற்படுத்த முடிவதில்லை. அதிக வேகத்துடன் வீசும் காற்று இதற்குமாறாக இலைப்பரப்பில் மிக மெல்லிய காற்றடுக்கை உருவாக்கி நீராவிப்போக்கினை அதிகரிக்க உதவுகிறது.

இலையின் உள்ளமைப்புப் பண்புகள் சிலவும் இந்தக் காற்றடுக்குத் தாக்கத்தினை ஏற்படுத்துகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, இலைப்பரப்பில் காணப்படும் மிக நுண்ணிய மயிரிகள் காற்றுத் தடை சாதனங்களாகத் திகழ்ந்து இந்த அடுக்கின் தடிமனை அதிகரிக்கச் செய்கின்றன. இதேபோல் சில தாவரங்களின் புறத்தோலில் இலைத்துளைகள் பரப்பில் காணப்படாமல் உள்அமிழ்ந்து குழிகளில் காணப்படுவதும் இந்நிலையை உருவாக்குகிறது.

1.5.2. நீராவிப்போக்கின் முக்கியத்துவம் (Significance of Transpiration)

நீராவிப் போக்கின் தனிச்சிறப்புப் பற்றிக் கீழ்க்கண்ட இரு கருத்துகள் நிலவுகின்றன.

i) இயல்திட்ட வாதத்தின் அடிப்படையில் அமைந்த கருத்து:

"இயற்கை நிகழ்வுகளின் காரண காரியத் தொடர்புகள் தற்செயலான நேர்வுகளல்ல, மாறாக இறுதி விளைவை நோக்கிய மூலத்திட்ட அமைப்பின் கூறுகளாக இவை திகழ்கின்றன." - என்பதே இயல்திட்ட வாதத்தின் (Teleology) உட்கருத்தாகும். இந்த நோக்கில் நீராவிப் போக்கினை அணுக வேண்டும் என்பது ஒரு சிலரது கருத்து. எனவே நீராவிப் போக்கு ஒரு தற்செயலான நிகழ்வு அல்ல. கீழ்க்கண்ட சில நன்மைகளுக்காக எற்பட்ட ஒரு செயல் என இவர்கள் கருதுகின்றனர்.

அ) வேர்களில் உறிஞ்சப்பட்ட தனிமப் பொருட்கள் தாவரத்தினுள் மேல் நோக்கி இடப்பெயர்வு அடைய நீராவிப்போக்குதான் உதவுகிறது. நீராவிப்போக்கின் இழுவிசையால் சாரேற்றம் நிகழும் போது, மொத்த ஒட்டச் செயல் மூலம் தனிம அயனிகள் பல உள்ளெடுக்கப்பட்டு நீருடன் கடத்தப்படுகின்றன.

ஆ) செல்களில் பயன் தரும் அளவில் விறைப்பழுத்தம் அல்லது நீரியல்திறன் தோன்றிட இந்நிகழ்வு உதவுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, சில தாவரங்கள் நீராவிப்போக்குக் குறையும் போது நன்கு செயல்பட முடிவதில்லை. இதற்குக் காரணம் அவற்றின் செல்களில் பயனளிக்கக் கூடிய நீரியல்திறன் உண்டாகாமல் போவதே யாகும். பயன்தரும் நீரியல்திறன் அளவைவிட அதிகமான அல்லது குறைந்த நிலையில், தாவரத்தினால் சரியாகச் செயல்பட முடிவதில்லை. அதிக நீர் இழப்பு ஏற்படும் போது மட்டுமே இது குறைந்து தாவரத்திற்கு நீர் நெருக்கடி நிலை (water Stress) ஏற்படுகிறது. ஆனால், தாவரங்கள் இதனைத் தவிர்த்துக் கொள்ள முயல்கின்றன. மாறாக, நீராவிப்போக்கு இல்லாதிருப்பின், செல்களில் நீரியல்திறன் மிக உயர்ந்து பயனளிக்கக் கூடிய அளவில் நீரியல்திறன் தோன்றாது போவதால் தாவரம் சிறப்பாகச் செயல்பட முடியாமல் போகிறது. எனவே நீராவிப்போக்கு ஒரு இன்றியமையாத செயலாகிறது.

இ) இலைகளிலிருந்து அதிக அளவில் வெப்பத்தை அகற்றி தாவரத்திற்குக் குளிர்ச்சியை அளிக்க இச்செயல் உதவுகிறது. தாவரங்கள் எப்போதும் சூரிய ஒளியின் நேரடித் தாக்கத்திற்கு உள்ளாவதால் அவற்றின் உறுப்புகளில் வெப்பநிலை உயர்வு ஏற்படுகிறது. ஆனால் இதனைத் தவிர்க்க நீராவிப்போக்கு உதவுகிறது. நீர் ஆவியாகும் நிகழ்ச்சி ஒரு திறன்மிக்க சூளிரூட்டும் செயலாகும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கிலோகிராம் நீர் 30°C–இல் பரப்பு ஆவியடையும் போது வளிமண்டலத்திலிருந்து 580 கிலோகலோரி ஆற்றலை ஈர்த்துக் கொள்கிறது. இதே போல் நீராவிப்போக்கு

நிகழும்போது தாவர உடலத்திலிருந்து வெப்ப ஆற்றல் உறிஞ்சப்படுகிறது. எனவே தாவரத்தில் சீரான வெப்ப நிலை உண்டாக ஏதுவாகிறது.

இந்த நன்மைகளை நோக்கும் போது நீராவிப்போக்கு ஒரு தீய செயலானாலும் தாவரங்களைப் பொறுத்தமட்டில் ஒரு தேவையான தீமையே (Necessary Evil) என இயல்திட்ட வாதத்தை ஆதரிப்பவர்கள் கருதுகின்றனர்.

ii). இயல்திட்ட வாதத்திற்கு அப்பாற்பட்ட கருத்து:

அறிவியல் அறிஞர்கள் இயல்திட்ட வாதத்தினை ஏற்பதில்லை. ஏனெனில் அறிவியல் அடிப்படையில் இதனைச் செயல்முறைப்படுத்த முடியாது என்பது இவர்களது கருத்து. இதற்கு ஆதரவாக கீழ்க்கண்ட அறிவியல் அடிப்படையில் அமைந்த வாதத்தை இவர்கள் தந்துள்ளனர்.

நீராவிப்போக்கினால் தெரிவு செய்யப்பட்ட நன்மை ஏதுமில்லை. தெரிவு செய்தல் என்பது உயிரியல் பரிணாமக் கொள்கையின் ஒரு முக்கியக் கூறாகும். இந்த அடிப்படையில் தெரிவு செய்யப்பட்ட ஒரு நற்பண்பாக நீராவிப்போக்கினைக் கருத முடியாது. அத்துடன் பரிணாமச் செயலில் நன்மை பயக்காத பண்புகள் இயற்கைத் தெரிவின் போது நீக்கப்பட்டுத் தெரிவு செய்தல் நிகழ்கிறது. இத்தெரிவில் சில சமயம் குறைவாகத் தீங்கு செய்யும் பண்புகளும், தீமையான செயல்களானாலும், வேறு சில நன்மைகளுக்காகத் தேவைப்படும் பண்புகளும் தெரிவு செய்யப்படுவதும் உண்டு. இவற்றுள் இரண்டாவது வகையில் ஒன்றாக நீராவிப்போக்குக் கருதப்பட்டு, தெரிவு செய்யப்பட்ட ஒரு வாழ்வியல் செயல் என இவர்கள் கருதுகின்றனர்.

அத்துடன் இப்பண்பைத் தாவரங்கள் தவிர்க்க முடியாது என்பதும் இவர்கள் கருத்து. இலைத்துளைகள் இருப்பதால்தான் இச்செயல் நிகழ்கிறது. இலைத்துளைகள் அமைந்திருப்பது வளி பரிமாற்றத்திற்காக, குறிப்பாக ஒளிச்சேர்க்கைக்குத் தேவையான CO_2–வை உள்ளெடுப்பதற்காக, எனவே ஒரு நன்மையான செயலுக்காக உருவாக்கப்பட்ட பண்பு, நீராவிப்போக்கு என்ற ஒரு நன்மை பயவாத நிகழ்வைத் தவிர்க்க முடியாமல்போகிறது என்பதே இவர்கள் இதற்கு கூறும் காரணமாகும்.

நீராவிப்போக்கு இல்லாது போயிருப்பின், அதனால் ஏற்படும் நன்மைகள் எனக்கூறப்படும் பண்புகளை, வேறு ஏதாவது ஒரு தெரிவு செய்யப்பட்ட வாழ்வியல் செயலின் மூலம் தாவரங்கள் அடைந்திருக்கும் என்பதும் இவர்களது கருத்தாகும்.

எனவே, தேவையின் விளைவாக உருவான, தவிர்க்க முடியாத, செயலாகிய நீராவிப்போக்கு நன்மையின் பக்கம் திருப்பிவிடப்பட்டு அதன் காரணமாக ஏற்படும் நன்மைகளே நீராவிப் போக்கினால் விளையும் நன்மைகள் என இவர்கள் கருதுகின்றனர்.

1.6 பயிர் உற்பத்தியில் நீர் நெருக்கடி (Water Stress in Crop Production)

ஏதேனும் ஒரு புறக்காரணி தாவரத்தில் தீமையான விளைவை வெளிப்படுத்தினால் அந்நிலை நெருக்கடி நிலை எனப்படுகிறது. தாவரத்தின் உயிர்ப்பு நிலை, உற்பத்தித்திறன், வளர்ச்சி வீதம் அல்லது CO_2 மற்றும் தனிம உள்ளெடுப்பு ஆகிய முதல் நிலை தன்வயச் செயல்களில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் போன்றவற்றின் அடிப்படையில் இந்த நெருக்கடிநிலை அளந்தறியப்படுகிறது. இயற்கைச் சூழலில் வளரும் தாவரங்கள், வேளாண் தாவரங்கள் ஆகிய இரண்டுமே நெருக்கடி நிலைக்கு உள்ளாகின்றன. வெப்ப நிலை போன்ற காரணிகள் ஒரு சில நிமிடங்களிலிலேயே நெருக்கடி நிலையினை ஏற்படுத்திவிடுகின்றன. நிலநீர் போன்ற காரணிகள் சில நாட்கள் அல்லது ஒரு சில வார காலத்திலும், ஊட்டத்தனிமங்கள் போன்ற காரணிகள் ஒரு சில மாதங்களிலும் இந்நிலையினை ஏற்படுத்துகின்றன.

ஒவ்வாத சூழலுக்கு ஒத்துப்போகும் அளவிற்கு ஒரு தாவரம் தன்னைத் தகுதியாக்கிக் கொண்டால் அதற்குத் தாங்குதிறன் என்று பெயர். உகந்து போதலும் தகவமைவும் முற்றிலும் வேறுபட்டவை. பல சந்ததிகள் மூலம் மரபிய வழியில் நிர்ணயிக்கப்பட்டு பெறப்பட்ட பண்புகள் தகவமைவுப் பண்புகளாகும். ஆனால் நெருக்கடிநிலை வருவதற்கு முன்பே தாவரங்கள் தங்களைத் தகுதிப்படுத்திக் கொண்டால் அதற்கு உகந்ததுபோதல் என்று பெயர்.

1.6.1. பயிர் தாவரங்களில் நீர் நெருக்கடியின்போது ஏற்படும் மாற்றங்கள்

நீர்பற்றாக்குறை ஒருவகை நீர் நெருக்கடியாகும். இதற்கான தாங்குதிறன் வறட்சி எதிர்ப்புத்திறன் எனப்படுகிறது. இந்நெருக்கடிக்குத் தாவரங்களில் ஏற்படும் எதிரமை மாற்றங்களை நன்கு அறிந்துகொள்ளுதல் சிறந்த பயிர் வேளாண்மைக்குத் தேவையான ஒன்றாகும். நீர் பற்றாக்குறையின்போது தாவரங்களில் பாதுகாப்பு நடவடிக்கைகளாக ஏற்படும் எதிரமை மாற்றங்கள் பின்வாறுமாறு:

- இலைப்பரப்பினைக் குறைத்துக் கொள்ளுதல் முதலில் உண்டாகும் பாதுகாப்பு நடவடிக்கையாகும். இலைப்பரப்பு விரிவடைவது, செல்கள் விரிவடைவதால் உண்டாகும் நிகழ்ச்சியாகும். எனவே நீர் பற்றாக்குறையின் போது செல்கள்

விரிவடைதல் தடைப்படும் போது இலைப்பரப்பு விரிவடைவதும் தடைப்படுகிறது.

- ஆழ் நிலத்தின் ஈரமண்ணை நோக்கி ஆழமாக வளர்ந்து செல்லுதல் இரண்டாவது நடவடிக்கையாகும். நிலத்தின் அனைத்து அடுக்குகளும் ஈரமாக இருப்பின் தாவரங்கள் ஆழமற்ற வேர்த் தொகுப்பை உருவாக்கிக் கொள்கின்றன. தொடர்ந்து நிலவும் நீர் பற்றாக்குறையால் மேல் அடுக்குகளில் நீர் குறையும் போது தரை அருகே இருந்த ஆழமற்ற வேர்கள் மடிந்து ஆழமாக வளரும் வேர்கள் தோன்றுகின்றன.
- இலைத்துளைகளை மூடிக்கொண்டு நீராவிப்போக்கைத் தவிர்த்துக்கொள்ளுதல் மூன்றாவது நடவடிக்கையாகும். நீர் பற்றாக்குறை தொடங்குவதற்கு முன்பே தனக்குரிய முழு இலைப்பரப்பையும் உருவாக்கிக்கொள்ளும் தாவரங்களில் இந்த நடவடிக்கை மிகவும் இன்றியமையாதது. நீர் பற்றாக்குறை உருவானவுடன் இத்தாவரங்களின் இலை செல்களில் அப்சிசிக் அமில (abscissic acid) உற்பத்தி தொடங்கி அவற்றின் காப்புச் செல்களில் இதன் செறிவு அதிகரிப்பதால் காப்புச் செல்களின் விறைப்பழுத்தம் குறைந்து இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்வது நிகழ்கிறது.

இந்த மூன்று முக்கிய நடவடிக்கைகள் தவிர கீழ்க்கண்ட சில வாழ்வியல் விளைவுகளும் தாவரங்களில் தோன்றுகின்றன.

- பசுங்கணிகங்களில் ஒளிச்சேர்க்கை வரம்பிற்குள்ளாகுதல்;
- நீர்ச் சமநிலையினைத் தக்கவைப்பதற்காக செல்களில் ஆஸ்மாசிஸ் சீரமைவு தோன்றுதல்;
- இலைகளில் நிகழும் ஆற்றல் பங்கீட்டில் மாற்றங்கள் நிகழ்தல்;
- நீரின் திரவ நிலை ஓட்டத்திற்கான தடை அதிகரித்தல்;
- இலைப் பரப்புகளில் மெழுகுப் பூச்சுகள் உண்டாதல்;
- கிராசுலேசி தாவரவகை வளர்சிதைமாற்றச் (Crassulacean Acid Metabolism) செயல் உருவாகத் தொடங்குதல்.

1.6.2. நீர் நெருக்கடிக்கான பயிர் மேலாண்மை நடவடிக்கைகள்

வறட்சியை எதிர்ப்பதற்காகத் தாவரங்களில் தோன்றும் திறம்பட்ட நடவடிக்கைகள் காலநிலை மற்றும் மண்ணின் தன்மைக்கு ஏற்ப வேறுபடுகின்றன. இந்த இரு காரணிகளுக்கு ஏற்ப வேளாண்மைக்குப் பயிர்த் தாவரங்கள் தெரிவு செய்யப்படுகின்றன.

நீர் பற்றக்குறையினால் தாவரங்களின் இலைகள் அகலப்படுதல் வரம்பிடப்படுகிறது. ஒளிச்சேர்க்கை வீதம் இலைப்பரப்பின் அளவிற்கு நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் இருந்தாலும் இலையின் இப்பண்பு நீர் கிடைக்கும் அளவைப் பெரிதும் பாதிக்கிறது. இலை அகலப்படுதலின்

அடிப்படையில் தாவரங்கள் வரையறுக்கப்படாத மற்றும் வரையறுக்கப்படட்ட தாவரங்கள் எனப் பாகுபடுத்தப்படுகின்றன. தழைஉடல வளர்ச்சியையும் பூத்தலையும் நீண்டகாலத்திற்கு வைத்திருக்கும் தாவரங்கள் வரையறுக்கப்படாத தாவரங்கள் எனப்படுகின்றன. மாறாக, குறுகிய காலத்திலேயே தீர்மானிக்கப்பட்ட இலை எண்ணிக்கை மற்றும் பூத்தல் ஆகியவற்றை உண்டாக்கிக்கொள்ளும் தாவரங்கள் வரையறுக்கப்பட்ட தாவரங்கள் எனப்படுகின்றன.

குளிர் மற்றும் இளவேனில் காலங்களில் மட்டும் மழை உண்டாகி வறண்ட கோடை ஏற்படின் தாவரங்களில் கீழ்க்கண்ட விளைவுகளைக் காணலாம்.

- வேகமான இலை வளர்ச்சியினால் அகன்ற இலைப் பரப்புகள் தோன்றுதல்;
- நீர் அளவு குறைதல் தொடக்கத்திலிருந்தே அதிகரித்தல்;
- தாவரங்கள் தங்கள் வாழ்க்கை வட்டத்தினை முடிக்கத் தேவையான மண்ணின் ஈர அளவு மிகக் குறைந்து போதல்.

இப்படிப்பட்ட நிலையில் பிந்தய பருவகாலத்தில் இனப்பெருக்கத்திற்குத் தேவையான நீரைச் சேமித்து வைக்கும் தாவரங்களும், இப்பருவ காலம் முடிந்து வறட்சி ஏற்படத் தொடங்குவதற்கு முன்பே தங்களின் வாழ்க்கைச் சுழலை முடித்துச்கொள்ளும் தாவரங்களும் மட்டுமே தங்களின் சந்ததிகளை உருவாக்கத் தேவையான விதைகளை உருவாக்கிக் கொள்ள முடியும். இப்படிப்பட்ட தாவரங்கள் வறட்சியிலிருந்து தப்பித்துக்கொள்ளும் தாவரங்கள் எனப்படுகின்றன. மாறாக கோடைமழை போதுமானதாக ஆனால், ஒழுங்கற்ற முறையில் இருப்பின் நிலைமை வேறுவிதமாக அமைகிறது. பெரிய இலையை வேகமாக உருவாக்கிக்கொள்ளும் தாவரங்களே கோடைகாலத்தில் அவ்வப்போது உண்டாகும் மழையினை நன்கு பயன்படுத்திக் கொள்ளக்கூடிய தாவரங்களாக உள்ளன. இவை வரையறுக்கப்படாத தாவரங்களாகும். எடுத்துக்காட்டாக மக்காச் சோளத்தை (Zea mavs) விட முத்துச்சோளம் (Sorghum vulgare) வறட்சியைத் தாங்கும் திறன் கொண்டதாக உள்ளது. முத்துச்சோளத் தாவரம் விரைவிலேயே இரண்டாம் நிலை வேர்களை உருவாக்கிக் கொண்டு தொடர்ந்து வளர்ந்து மையத்தண்டு முதிர்ச்சியடைந்ததும் பூக்களை உருவாக்கிக்கொள்வதே இதற்குக் காரணமாகும். மாறாக மக்காச்சோளத் தாவரம் இரண்டாம் நிலை வேர்களை உருவாக்கிக் கொள்வதில்லை. எனவே, வறட்சியின்போது கனிகள் உருவாவது தோல்வியுற்று, பின்னர் உருவாகும் மழையினைப் பயன்படுத்தி இழப்பைச் சரிசெய்து கொள்ள முடிவதில்லை. இதே போல் சேயாபீன் தாவரமும் ஒரு வரையறுக்கப்படாத தாவரமாகும். இருப்பினும் சோளத்தைப்போல் அதிகப் பாதிப்பிற்கு உள்ளாவதில்லை.

நீர் நெருக்கடிக்கான வேறு சில பயிர் மேலாண்மை நடவடிக்கைகள் பின்வருமாறு:

- பயிர்ப்பெருக்கமுறையில் வேர்வளர்ச்சியினை விரைவடையச் செய்யும் முயற்சி மேற்கொள்ளுதல். வறட்சியை எதிர்க்கும் தரம் உயர்ந்த வேளாண்பயிர்களில் இதனை நடைமுறைப்படுத்துதல் மிகவும் தேவையானதாகும்.
- நைட்ரஜன் ஊட்டச்சத்தளித்தலில் மாற்றங்களைக் கடைபிடித்தல். நைட்ரஜன் உரமிடல் அப்சிசிக் அமிலம் சேகரமடைதலை அல்லது மறுவிநியோகமடைதலை அல்லது இரண்டினையும் நிகழச்செய்கிறது. இதனால், நீர் நெருக்கடியில் இலைத் துளைகளின் எதிர்விளைவு வெளிப்பாடு பெரிதும் மாற்றியமைக்கப் படுகிறது.
- ஆஸ்மாசிஸ் விளைவுகளைச் சரிசெய்துகொள்ளும் பயிர்களை உருவாக்குதல். மரபியமுறையில் இப்பண்பை அடையக் கூடிய தாவரங்களில் கலப்புயிர்தல் முறை அல்லது தேர்வுமுறை ஆகியவற்றின் மூலம் உருவாக்கலாம். வாழ்வியல் முறையில் இப்பண்பை அடையக்கூடிய தாவரங்களில் கட்டுபாடான நீர் நெருக்கடி நிலைகளுக்கு அவற்றை உட்படுத்துவதன் மூலம் உருவாக்கலாம். நீர் நெருக்கடி நிலைகளுக்குத் தாங்குதிறன் அடைய இப்பண்பு மிகைப்படுதல் மிக முக்கியமாகும். எடுத்துக்காட்டாக தட்டைப்பயறு தாவரத்திற்கு இப்பண்பு மிகையாக உள்ளது.
- நீர் நெருக்கடி நிலையின் போது மக்னீசியம் ஊட்டச்சத்தினைச் சரிசெய்தல் மற்றொரு மேலாண்மையாகும். நீர் பற்றாக்குறையால் இலைகள் வறட்சியடையும் போது தாவரத்தின் மக்னீசியத்தின் அளவு குறைவாயிருப்பின் அது அதிக ஒளிச்சேர்க்கை வீதத்தினைத் தக்கவைத்துக்கொள்ள முடியும் என்பதே இதற்குக் காரணமாகும்.

2. தாவரம்-தனிம உறவுகள்

தாவரங்களுக்கும் சுற்றுச்சூழலுக்குமிடையே ஊட்டத் தனிமங்கள் பரிமாற்றிக் கொள்ளப்படுவதுடன், அவற்றின் திசுக்களுக்கிடையேயும், இப்பரிமாற்றம் நிகழ்கிறது. இவ்வாறு தனிம மூலக்கூறுகள் புறச்சூழலில் இருந்து தாவரத்திற்கும் பின்னர், தவரத்தினுள்ளாகவும் இடப்பெயர்வு அடைவது தனிம உள்ளெடுப்பு மற்றும் கடத்துதல் என அழைக்கப் படுகிறது.

தனிம உள்ளெடுப்பு, தனிமக் கடத்துதல் ஆகிய செயல்களின் இயக்கமுறைகளைத் தெரிந்து கொள்வதற்கு முன்பு தனிம உள்ளெடுப்பை நிகழ்த்தும் வேரின் பகுதிகளைப் பற்றியும், அப்பகுதிகளில் உள்ள செல்பரப்பில் தனிம அயனிகள் ஒருமுகப்படும் விதத்தையும் அறிந்து கொள்ளுதல் மிகவும் இன்றியமையாததாகும்.

2.1 தனிம உள்ளெடுப்பு நிகழும் வேர் பகுதி

வேர்த்தொகுப்பில் தனிம உப்புக்கள் உள்ளெடுக்கப்படும் குறிப்பிட்ட இலக்கை நிருணயித்துக் கூறமுடியாது. இது தாவரத்திற்கு ஏற்றவாறும், எடுக்கப்படும் ஊட்டத் தனிமத்தையும் பொறுத்தும் பெரிதும் வேறுபடுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, பார்லி தாவரத்தின் வேர்களில் கால்சியம் உள்ளெடுப்பு வேர்நுனிப்பகுதியில் மட்டுமே நிகழ்கிறது. இதேபோல் இரும்பு உள்ளெடுப்புப் பார்லி தாவரத்தில் வேர்நுனிப்பகுதியிலும், சோளத் தாவரத்தின் வேரின் அனைத்துப் பகுதிகளிலும் நிகழ்கிறது. பெரும்பாலான தாவரங்களில் பொட்டாசியம், நைட்ரேட், அமோனியம், ஃபாஸஃபேட் முதலிய தனிம உப்புக்கள் வேரின் அனைத்துப் பகுதிகளிலும் உள்ளெடுக்கப்படுகின்றன. ஆனால், சேளத்தாவரத்தில் நைட்ரஜன், பொட்டாசியம் போன்றவை அதிக அளவில் உள்ளெடுக்கப்படுவது வேர்நீட்சிப் பகுதியாக உள்ளது. அதேபால் சேளம், நெல் போன்ற தாவரங்களின் வேர் நுனிப்பகுதியில் அமோனியம் உள்ளெடுப்பு அதிக அளவில் நிகழ்கிறது. பெரும்பாலான தாவரங்களில் வேர்த் தூவிப்பகுதியே ஃபாஸ்ஃபேட்டை வேகமாக உள்ளெடுத்துக் கொள்ள உதவும் பகுதியாகத் திகழ்கிறது.

வேர்நுனிப் பகுதியே அதிக அளவில் ஊட்டத் தனிமங்களை உள்ளெடுக்கிறது. வேரின் வளர்ச்சியின்போது வேர்நுனி ஊட்டத்தனிமங்கள் நிறைந்த புதிய இலக்குகளை அவ்வப்போது அடைவதும், இப்பகுதிக்கு அதிக ஊட்டத் தனிமங்கள் தேவைப் படுவதுமே இதற்குக் காரணமாகும். எடுத்துக்காட்டாக வேர் நுனியின் நீட்சிப்பகுதியில் செல்களின் நீட்சி நிகழ அங்கு ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தம்

படுவதுமே இதற்குக் காரணமாகும். எடுத்துக்காட்டாக வேர் நுனியின் நீட்சிப்பகுதியில் செல்களின் நீட்சி நிகழ அங்கு ஆஸ்மாசிஸ் அழுத்தம் அதிகரித்தல் மிகத்தேவையாகும். இச்செயலுக்குப் பொட்டாசியம், குளோரைடு, நைட்ரேட் தனிமங்கள் அதிகம் சேர்க்கையடைய வேண்டியுள்ளது. எனவே, இப்பகுதி இந்தத் தனிமங்களை அதிகம் எடுத்துக் கெள்கின்றன. வேர் நுனியின் ஆக்குத்திசுப் பகுதி புரதச்சேர்க்கைக்கு நைட்ரேட்டை உள்ளெடுக்காமல் அமோனியத்தை உள்ளெடுக்கவே விரும்புகின்றன. ஏனெனில், இதற்குக் குறைந்த அளவு ஆற்றலே தேவைப்படுகிறது.

நிலத்தினுள் தனிம உப்புக்கள் வேர் பரப்பை நோக்கி இடம்பெயர பரவுதல் செயலும், மொத்த ஓட்டமும் உதவுகின்றன. மொத்த ஓட்டம் நிகழ வேண்டுமானால் நிலத்துகள்களின் இடைவெளிகளில் நீர் ஓட்ட வீதம் அதிகமாக இருப்பதுடன் தனிமங்களின் செறிவும் அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும். வேர்ப்பரப்பை நோக்கி நீர் ஓட்டவீதம் வேகமாக நிகழத் தாவரத்தில் நிகழும் நீராவிப்போக்கு மிகவும் உதவுகிறது. பரவுதலன்போது ஊட்டத் தனிமங்கள் அதிகச் செறிவுமிக்க இலக்கிலிருந்து குறைவான இலக்கை நோக்கி இடம்பெயர்கின்றன. வேர்கள் ஊட்டத் தனிமங்களை உள்ளெடுப்பதால் அவற்றின் செறிவு வேர்ப்பரப்பில் குறைந்து வேரைச் சூழ்ந்துள்ள நிலக்கரைசலில் செறிவுவாட்டம் உருவாக நேரிடுகிறது. தனிம இடப்பெயர்வு நிகழ இதுவும் உதவுகிறது.

வேர் சூழ்ந்த நிலப்பகுதிறில் தனிமங்களின் செறிவு குறைவாக உள்ள நிலையில், வேர்கள் அதிக அளவில் தனிமங்களை உள்ளெடுக்க முயலும்போது, நிலத்தில் நிகழும் நீரின் மொத்த ஓட்டச் செயல், இச்செறிவை ஈடுகட்டும் அளவிற்குத் தனிமங்களைக் கொண்டுவர முடியாதுபோகிறது. அதனால் தனிம உப்புக்கள் அகற்றப்பட்ட மண்டிலம் ஒன்று வேர்ப்பரப்பைச் சூழ்ந்து உருவாகிறது. இது வேர்பரப்பிலிருந்து 0.2 முதல் 2 மி.மீ. வரை விரிந்து காணப்படுகிறது. இந்நிலையில், தாவரத்திறகுத் தனிமப் பற்றாக்குறை ஏற்பட வாய்ப்புள்ளது. இதே நிலையில் நிலத்திலிருந்துத் தனிமங்களை அகழ்ந்து எடுப்பதற்கு ஏற்றவாறு தனிம உப்புக்கள் நிறைந்த நிலக்கரைசலை நோக்கிச் செல்ல, வேரில் நிகழும் தொடர் வளர்ச்சி உதவுகிறது. எனவே, சிறந்த முறையில் தனிம உப்புக்களைப் பெற்றிட தனிம உள்ளெடுப்பிறகான தகுதியை அடைவதுடன் வேர்த்தொகுப்பு வளர்ச்சியினைப் பெற்றிட வேண்டிய தேவை உள்ளது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

2.2 தனிம உள்ளெடுப்பின் இயக்கமுறை

2.2.1. நிலத்திலுள்ள ஊட்டத் தனிமங்கள் வேர்ப்பரப்பில் ஒருமுகப்பட்டுப் படிதல்

தாவரங்கள் ஊட்டத் தனிமங்களை அயனிகளாக உள்ளெடுக்கின்றன. நில நீரில் தனிம உப்புக்கள் கரைந்து உண்டாகும் நிலக்கரைசலில் இந்த அயனிகள் காணப்படுகின்றன. இவை மண் துகள்களின் பரப்பில் படிந்து பிணைந்திருந்தால் மட்டுமே தாவரங்களுக்கு எளிதில் கிடைக்க முடியும். கரைசலில் தனி அயனிகளாக விடப்படடிருப்பின், நீர் ஒட்டச் செயலின்போது எளிதில் அடித்தச் செல்லப்பட்டுவிடும். எனவே, வேர்ப்பரப்பில் தனிம அயனிகள் ஒருமுகப்பட்டுப் படிவதற்கு முன்பு அவை மண் துகள்களின் பரப்பில் படிதலடைய வேண்டும்.

தனிம, கரிம மண் துகள்கள் ஆகிய இரண்டுமே தங்களின் பரப்பில் எதிர் மின்சுமையை வெளிப்படுத்துகின்றன. எனவே, பெரும் பாலும் நேர் மின்சுமை பெற்ற அயனிகளை ஈர்த்து வைத்துக் கொள்கின்றன. அலுமினியம் (Al^{3+}), சிலிகான் (Si^{4+}) போன்ற நேர் மின்சுமை கொண்ட அயனிகள் ஆக்சிஜன் அணுக்களால் பிணைக்கப் பட்டு தோன்றும் நான்கு முகப்புகளுடைய (tetrahedral) தொகுப்புகளே தனிமத் துகள்களாகும். இவை முறையே அலுமினேட்டுகள், சிலகேட்டுகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. இத்துகள்களிலுள்ள அலுமினியம் மற்றும் சிலகான் அயனிகளின் மின்சுமையைவிடக் குறைவான மின்சுமை பெற்ற நேர் அயனிகள், இவற்றை இடப்பெயர்வு செய்யும்போது அத்துகள்களின் பரப்பு எதிர்மின்சுமையினை வெளிப் படுத்துகின்றன.

இறந்தத் தாவர, விலங்கின எச்சங்களை நுண்ணுயிர்கள் சிதைப்பதினால் கரிம மண்துகள்கள் தோன்றுகின்றன. இக்கரிமத் துகள்களில் உள்ள கார்பாக்சிலிக் அமிலங்களிலிருந்தும் ஃபினால் சேர்மங்களிலிருந்தும் H^{+} அயனிகள் நீக்கப்படுவதால், இவற்றின் பரப்பில் எதிர் மின்சுமைகள் வெளிப்படுகின்றன.

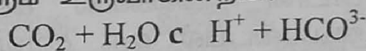
இந்த தனிம, கரிம மண் துகள்களின் எதிர் மின்சுமைப் பரப்புடன் அமோனியம் (NH^{4+}), பொட்டாசியம் (K^{+}) போன்ற நேர் மின்சுமை பெற்ற அயனிகள் மிக எளிதில் புறஒட்டலடைகின்றன. மண்ணின் தனிம வளத்திற்கு இது ஒரு மக்கியச் செயலாகும். ஏனெனில், இவ்வாறு பிணையுற்ற தனிம அயனிகள் எளிதில் நீரினால் அடித்துச் செல்லப்படுவதில்லை. எனவே, தாவரங்களின் வேர்களுக்கு இவை எளிதில் கிடைக்கின்றன. அத்துடன் இத்தனிமத்துகள்களில் புற ஒட்டலடைந்துள்ள இந்தத் தனிம அயனிகள் நேர் அயனிப்பரிமாற்றச்

செயல் (Cation Exchange) மூலம் பிற நேர் அயனிகளுடன் பரிமாறிக் கொள்ளப்படுகின்றன. இவ்வாறு மண்துகள்கள் நேர் அயனிகளைப் புற ஒட்டலடையச் செய்து பின்பு பரிமாற்றிக் கொள்ளும் அளவு நேர் அயனிப் பறிமாற்றத் திறன் (cation exchange capacity) என்ற அளவுகோலினால் குறிப்பிடப்படுகிறது. இந்த அளவு நிலத்தின் வகைக்கு ஏற்ப வேறுபடுவதும் குறிப்பிடத்தக்கது.

நிலக்கரைசலில் உள்ள நைட்ரேட் (No^{3-}), குளோரின் (Cl^{-}) போன்ற அயனிகள், மண்துகள்களின் பரப்பில் உள்ள எதிர் மின் சுமைகளினால் விலகுதல் அடைந்து ஒதுங்கிவிடுகின்றன. எனவே, புறஒட்டலடைதல் நிகழாமல் நீரோட்டத்தில் எளிதில் அடித்துச் செல்லப்படுகின்றன. எனவேதான் வேளாண் நிலத்தில் எதிர் மின்சுமை பெற்ற ஊட்டத் தனிமங்களின் பரிமாற்றச் செயல் பெரும்பாலும் நிகழ்வதில்லை. குறிப்பாக நைட்ரேட் அயனிகள் மிக எளிதில் அடித்துச் செல்லப்பட்டுவிடுவதால் இதன் பற்றாக்குறை அதிகம் ஏற்படுகிறது.

அலுமினியம் (Al^{3+}) அல்லது இரும்பு (Fe^{2+} or Fe^{3+}) அயனிகளைப் பெற்ற மண் துகள்கள் ஹைட்ராக்ஸில் அயனிகளை (OH^{-}) பெற்றிருப்பதால் இந்த அயனிகளை இடப்பெயர்வு செய்து ஃபாஸ்ஃபேட் அயனிகள் (H^2PO^{2-}) புற ஒட்டலடைய முடியும். இவ்வாறு பிணையுற்ற அயனிகள் எளிதில் பிரிய முடியாத அளவிற்கு இறுக்கமாகப் பிணைந்து விடுவதால், இவை தாவரத்திற்குக் கிடைப்பது அரிதாகி ஃபாஸ்ஃபேட் பற்றாக்குறை ஏற்படுகிறது. இதேபால் சல்ஃபேட் (SO^{4-}), கால்சியம் (Ca^{2+}) உள்ள நிலையில் அவற்றுடன் இணைந்து ஜிப்சமாக மாறிவிடுகிறது. இது குறைந்த அளவே கரையும் தன்மை பெற்றிருந்தாலும் தாவரத்தின் வளர்ச்சிக்கு ஏற்ற அளவு அளவிற்குக் கிடைத்துவிடுகிறது. எனவே, அமிலத்தன்மையற்ற கால்சியம் பெற்ற மண்ணில் சல்ஃபேட் எளிதில் அடித்துச் செல்லப்படாமல் தாவரத்திற்குப் போதிய அளவிற்குக் கிடைக்கிறது.

கரிமக் கழிவுகள் நிலத்தில் நுண்ணுயிரிகளால் சிதையும் போது தோன்றும் CO_2 நில நீரில் கரைந்து கார்போனேட் அயனிகளும், ஹைட்ரஜன் அயனிகளும் உருவாகின்றன.



$$CO_2 + H_2O \text{ c } H^+ + HCO^{3-}$$

இவற்றுள் H^+ அயனிகள் நிலத்தின் அமிலத்த்மையை உயர்த்துகிறது. அமில நிலத்தில் பாறைச் சிதைவு துரிதமடைந்து K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Mn^{2+} போன்ற அயனிகள் தோன்ற வாய்ப்புள்ளது. ஆனால், அதிக மழைப்பொழிவு உள்ள இடங்களில் இச்செயலின்போது தோன்றிய அயனிகள் H^+ மண்துகள்களுடன் புறஒட்டலடைந்துள்ள மேற்கூறிய அயனிகளைப் பரிமாற்றிக் கொண்டு அவற்றை நிலநீருக்குக்

கொண்டுவந்து விடுகின்றன. இதனால் இவை நீரோட்டத்தின் போது அடித்துச்செல்லப்பட்டு அவற்றின் பற்றாக்குறை எற்பட்டுவிடுகிறது. ஆனால், வறண்ட நிலப்பகுதிகளில் குறைவான மழை காரணமாக இது நிகழ்வதில்லை. எனவே, இக்குறிப்பிட்ட அயனிகள் நிலத்தில் தங்கி அதற்குக் காரத்தன்மையை ஏற்படுத்துவதுடன் தாவரத்திற்கு எளிதில் கிடைக்கவும் செய்கின்றன. ஆகவே, நிலத்தின் கார மற்றும் அமிலத் தன்மைகளும் தாவரங்களுக்குத் தனிம ஊட்டங்கள் கிடைப்பதை நிருணயிக்கின்றன.

2.2.2. செல்மட்டத்தில் தனிம உள்ளெடுப்பு

நிலத்திலிருந்து வேர் செல்கள் தனிமங்களை உள்ளெடுத்துக் கொள்ளுதல், செல்களுக்கிடையே அவை கடத்தப்படுதல் ஆகிய இரண்டு நிகழ்வுகளையும் பிளாஸ்மா சவ்வு கட்டுப்படுத்துகிறது. தனிமங்களை உள்ளெடுப்பதில் பிளாஸ்மா சவ்வு ஒரு தெரிவு செலுத்துச் சவ்வாக செயல்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். செல்மட்டத்தில் நிகழும் இந்தத் தனிமப் போக்குவரத்து உயர்மட்ட செயல்பாடுகளுக்கு முக்கியக் காரணமாகத் திகழ்கிறது.

செல்மட்டத்தில் நிகழும் இந்தத் தனிமக்கடத்தலை இயக்கும் விசைகளாகச் செறிவு வாட்டம், நீர்ம அழுத்தம் போன்றவை திகழ்கின்றன. இவையாவும் ஒருங்கிணைக்கப்பட்டு மின்வேதியல் திறன் வாட்டம் (Electrochemical potential gradient) என்ற ஒரே செற்றொரடால் விளக்கப்படுகின்றன. இந்த இயக்க விசைகளின் செயல்பாட்டை அறிந்துகொள்வற்கு முன்பு பிளாஸ்மா சவ்வின் செலுத்துத் திறனைப்பற்றி அறிந்து கொள்ளுதல் மிகத்தேவையாகும்.

ஒரு சவ்வு அதன் வழியாகப் பொருட்கள் கடந்து செல்ல அனுமதிக்கும் எல்லைஅளவு அதன் செலுத்துத் திறன் எனப்படுகிறது. சவ்வின் அமைப்பிற்கு உதவும் வேதிக்கூறுகள், கடந்து செல்லும் கரைபொருட்களின் வேதித்தன்மை ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் இச்செலுத்துதிறன் நிருணயிக்கப்படுகிறது. சவ்வு ஒன்றில் கரை பொருட்கள் வெளிப்புடுத்தும் பரவுதல் குணகத்தின் (Diffusion Coefficent) அடிப்படையில் இச்செலுத்துதிறன் எடுத்துரைக்கப்படுகிறது. குறிப்பிட்ட, கட்டுப்பாடான நிலைகளில் கரைபொருட்கள் கடந்து செல்லும் வீதத்தின் அடிப்படையில் ஒரு சவ்வின் செலுத்துதிறனைக் கணக்கிடலாம். பொதுவாகச் சவ்வுகள் பரவுதலுக்கு ஒரு தடுப்பை ஏற்படுத்தி சவ்வின் இரு பறமும் தனிம அயனிகள் சமச்செறிவடையும் வேகத்தைக் குறைக்கின்றன. இருப்பினும் முடிவாக சமநிலை அடைந்த பின்னர் அதில் மாற்றத்தினை ஏற்படுத்துவதில்லை. சவ்வின் வழியாகக் கரைபொருட்கள் செல்வது உயிர்ப்பற்ற உள்ளெடுப்பு, உயிர்ப்பு உள்ளெடுப்பு என்ற இரு செயல்களின் மூலம் நிகழ்கிறது.

வேதியல்திறன் வாட்டத்திற்கு இணங்க பரவுதல் செயல் மூலம், கரைபொருட்களின் இடப்பெயர்வு ஒரு சவ்வில் நிகழுமேயானால் அதற்கு உயிர்ப்பற்ற உள்ளெடுப்பு (passive uptake) என்று பெயர். வளர்சிதை மாற்றச் செயல் மூலம் தோன்றும் ஆற்றல் எதுவும் இதற்குத் தேவைப்படுவதில்லை. மாறாக, உயிர்ம ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி வேதியல்திறன் வாட்டத்திறகு எதிராக கரைபொருட்கள் உள்ளெடுக்கப்பட்டால் அதற்கு உயிர்ப்பு உள்ளெடுப்பு (active uptake) என்று பெயர்.

கரைபொருட்கள் மின்சுமை அற்றவைகளாக இருப்பின் (வளி மூலக்கூறுகள், சர்க்கரைப்பொருட்கள்) இவற்றின் இடப்பெயர்வு சவ்வின் இருபுறமும் நிலவும் வேதியில்திறன் வாட்டத்தினால் மட்டுமே தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. அதாவது, சவ்வின் இருபுறமும் உள்ள கரைபொருட்களின் செறிவு வேறுடு மட்டுமே இந்த இடப்பெயர்வைத் தீர்மானிக்கிறது.

ஆனால் உயிருள்ள செல்களில் மின்சுமை பெற்ற அயனிகளும் கரைபொருட்களாக இருப்பதால், சவ்வின் இருபுறமும் நிலவும் வேதியல்திறன் வாட்டத்துடன், மின்னியல் திறன் வாட்டமும் சேர்ந்து அவற்றின் இடப்பெயர்வைத் தீர்மானிக்கின்றன. இதற்கு மின் வேதியல் திறன் வாட்டம் (Electrochemical potential gradient) என்று பெயர்.

உயிருள்ள செல்லின் கரைசலாக இல்லாமால், ஒரு கண்ணாடி கலனில் உள்ள கரைசலில் பொதுவாக மின்னியல் திறன்வாட்டம் காணப்பட வாய்ப்பில்லை. ஏனெனில் அங்கு நேர், எதிர் மின்சுமை பெற்ற அயனிகள் சமநிலையில் காணப்படுகின்றன. ஆனால், உயிருள்ள செல்களின் சைட்டோபிளாசம் அல்லது செல்சாற்றில் இந்நிலை இருப்பதில்லை. காரணம், செல்களில் H^+ (புரோட்டான்), Na^+, Ca^{2+}, போன்ற அயனிகள் என்ற ATP-ase நொதியின் உதவியால் சைட்டோபிளாசத்திலிருந்து பிளாஸ்மா சவ்வின் வழியாகச் செல்சுவர் நோக்கியோ அல்லது டோனோபிளாஸ்ட் வழியாகச் செல்லுக்கு உள்ளே நுண்குமிழிப்பையில் உள்ள செல்சாறுக்கோ உந்தி அனுப்பப்பட்டு அதிக செறிவல் சேர்க்கையடைவதால் சைட்டோபியாசத்திற்குச் சிறிதளவு எதிர் மின்சுமை உண்டாகிறது. அதாவது, சைட்டோபிளாசத்திற்கும் புறச்சூழலுக்குமிடையே ஒரு மின்இயல் திறன் வாட்டம் ஏற்படுகிறது. எனவே, உயிருள்ள செல்களில் மின்இயல் திறன் வாட்டமே கரைபொருட்களின் இடப்பெயர்வை நிருணமிக்கிறது. இது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் குறிப்பிடப்படுகிறது.

$\Delta\mu$ n $\Delta(RTC) + \Delta(_zF)$). இது (Nernst equation) நெர்ன்ஸ்ட் சமன்பாடு எனப்படுகிறது. இதில் $\Delta\mu$ என்பது மின்வேதிய

திறன்வாட்டத்தைக் குறிக்கிறது. Δ(RTC) என்பது கரைபொருட்களின் வேதியதிறன் வாட்டத்தைக் குறிக்கிறது. Δ($_z$F)) என்பது கரைபொருட்களின் மின்னியல் திறன் வாட்டத்தைக்குறிக்கிறது.

Δ(RTC)–ல் 'R' என்பது வளிமாறிலியாகும். ஒரு மோல் செறிவில் ஒரு கெல்வின் வெப்பநிலையில் 8.314 ஜூல்ஸ் என்பதே இந்த 'R' அளவாகும். 'T' என்பது தனிச்சுழி வெப்பநிலையைக் குறிக்கிறது. இதுவும் ஒரு மாறிலியாகும். எனவே 'C' என்ற கரைபொருட்களின் செறிவு (ஒரு லிட்டர் நீரில் உள்ள மோல் அளவு) மட்டுமே வேறுபடக்கூடிய அளவாக இருப்பதால் Δ என்ற செறிவு வேறுபாடு இதற்கு மட்டுமே பொருந்தும்.

இதேபோல் Δ($_z$F))–ல் 'Z' என்பது கரைபொருளாக உள்ள அயனியின் மின்சுமையைக் குறிக்கிறது. 'F' என்பது ஃபாரடே மாறிலியாகும். இவை இரண்டும் மாறிலிகளாக இருப்பதாலும், ')' என்ற கரைபொருட்களின் மின்னியல் திறன் (வோல்ட் அளவில்) வேறுபடக் கூடிய அளவாக இருப்பதாலும் Δ என்ற மின்னியல் திறன் வேறுபாடு இதற்கு மட்டுமே பொருந்தும். நெர்ன்ஸ்ட்சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடப்படும் மின்வேதியல் திறன் வாட்டம் (Δμ) சுழியாக அல்லது இதற்குக் கீழாக எதிர்மறை அளவாக இருப்பின் அங்கு நிகழ்வது உயிர்ப்பற்ற உள்ளெடுப்பாகும். அதாவது உயிர்ம ஆற்றல் உதவியின்றித் தனிம அயனிகள் உள்ளெடுக்கப்படுவதைக் குறிக்கிறது. மாறாக, இந்த (Δμ) அளவு சுழியைவிட உயர்வாக நேர்மறை அளவாக இருப்பின் அங்கு நிகழ்வது உயிர்ப்பு உள்ளெடுப்பாகும். அதாவது உயிர்ம ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி நிகழும் உள்ளெடுப்பாகும். இது செறிவு வாட்டத்திற்கு எதிராக நிகழக்கூடியது.

2.2.2.1. சவ்வின் தாங்கிப்புரதங்கள் (Membrane Carrier Proteins)

சவ்வின் உட்பகுதி முனைவுத் தன்மையற்ற இரு வரிசை கொழுப்பு அடுக்குகளை பெற்றிருப்பதால் அயனிகளும், முனைத்தன பெற்ற மூலக்கூறுகளும் தன்னைக் கடந்து செல்வதை அது அனுமதிப்ப தில்லை. ஆனால் முனைத்தன்மையற்ற ஆக்சிஜன் போன்ற வளி மூலக்கூறுகள் இதன் வழியாக எளிதில் செல்லமுடியும். இருப்பினும், முனை மூலக்கூறுகளில், நீர் மூலக்கூறுகள், CO_2, கிளிஸரால் போன்ற சிலவற்றிற்குச் சிறிதளவே தடை விதிக்கின்றன. இவற்றுள் நீர் மூலக்கூறுகள் குறிப்பிடத்தக்கன. சவ்விற்கு இவற்றைச் செலுத்தும் திறன் மிக அதிகமாகவே உள்ளது. சவ்வில் காணப்படும் போரின் புரதங்கள் அமைக்கும் துளைவெளிகளின் விட்டத்தைவிட குறைவான விட்டமுடைய மூலக்கூறுகளாக இவை இருப்பதும், சவ்வின் கொழுப்பு

அடுக்கில் உள்ள கொழுப்பு மூலக்கூறுகளின் நீர் விரும்பும் தலைப்பகுதியுடன் நெருங்கிய தொடர்பு கொள்வதும் இதற்குக் காரணங்களாகும். அத்துடன் உயிரினங்களில் செல்களில் உள்ள சவ்வுகளுக்குப் பல்வேறு அயனிகளையும் முனைவு மூலக்கூறுகளையும் தேர்ந்தெடுத்து உட்செல்ல அனுமதிக்கும் திறன் உள்ளது. சவ்வுகளில் இவற்றைக்கடத்த உதவும் தாங்கிப்புரதங்கள் இருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். இவை கால்வாய்கள், தாங்கி ஊர்திகள், உந்திச்செலுத்திகள் என மூன்று வகைகளாகக் காணப்படுகின்றன.

இந்தத் தாங்கிப்புரதங்கள் கரைபொருட்களைக் கடத்துவதில் குறிப்புச்சார்புத் தன்மை பெற்றவை. எனவே, பல்வேறு கரை பொருட்களுக்கு ஏற்றவாறு பல்வகைமை பெற்றுள்ளன. இருப்பினும் சில ஊர்திப்புரதங்கள் உறவு கொண்ட ஒரே குடும்பத்தைச் சேர்ந்த பொருட்களைக் கடத்தும் தன்மை பெற்றுள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக K^+–ஐ கடத்தும் தாங்கிப்புரதம் K^+ இல்லாத நிலையில் Na^+–ஐ கடத்துகிறது. அதேசமயம் K^+-ஐ கடத்தும் தாங்கிப்பரதம் ஒருபோதும் Cl^-–ஐ கடத்துவதில்லை. இதேபோல் சில நடுநிலைத் தன்மை பெற்ற அமினோ அமிலங்களைக் கடத்தும் தாங்கிப்புரதங்கள், கிளைசின், ஆலனைன், வேலைன் போன்ற அமினோ அமிலங்களையும் கடத்தும் தகுதியைப் பெற்றுள்ளன. ஆனால், அஸ்பார்டிக் அமிலம், லைசின் போன்றவற்றைக் கடத்தும் தகுதியற்றவை.

அ) கால்வாய் புரதத்தாங்கிகள் மூலம் நிகழும் இடப்பெயர்வு

இவை சவ்வின் குறுக்கே அமைந்திருக்கும் புரதங்களாகும். இவை தெரிவு செய்யப்பட்ட துளைகளாகச் செயல்படுகின்றன. கடத்தும் போது கரைபொருட்களைத் தன்னோடு பிணைத்துக் கொண்டோ அல்லது தன்னிச்சையாகவோ கடத்துகின்றன. எப்படி இருப்பினும் கால்வாய் திறவுற்றிருக்கும் காலம் வரை கரைபொருட்கள் இவற்றின் வழியாக மிகவேகமாகக் கடந்து செல்ல முடியும். ஆனால், இந்தக் கால்வாய்கள் நீண்ட காலத்திற்குத் திறவுற்றிருப்பதில்லை. புறச்சூழல் எச்சரிக்கைக்கு ஏற்ப திறந்து, மூடிக்கொள்ளும் கதவுகாளக இவை செயல்படுவதே இதற்குக் காரணம். இவற்றின் மூலம் நிகழும் இடப்பெயர்வு எப்போதுமே உயிர்ப்பற்ற செயலாக (Passive process) நிகழ்கிறது. எனவே கால்வாய்த் துளையின் அளவையும் இடம்பெயரும் அயனிகளின் மின்சுமையையும் பொறுத்தே இந்த இடப்பெயர்வு நிகழ்கிறது. தனிமஅயனிகளும் நீர் மூலக்கூறுகளும் இந்தவித இடப்பெயர்வை மேற்கொள்கின்றன.

ஆ) தாங்கிகளாகச் செயல்படும் புரதங்கள் மூலம் நிகழும் இடப்பெயர்வு

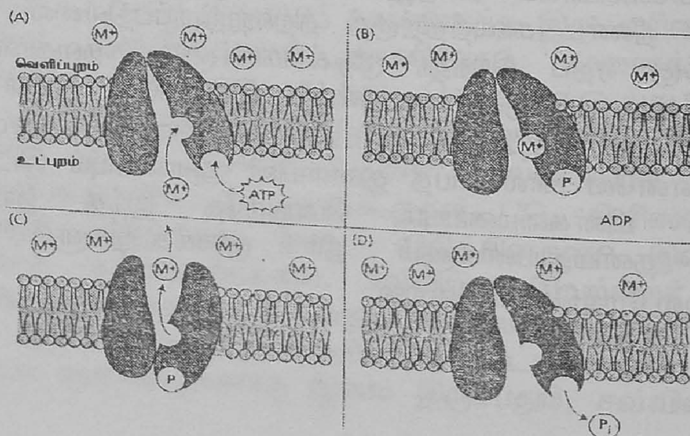
புரதங்கள் தாங்கிகளாகச் செயல்படுமேயானால், முதலில் அவற்றில் குறிப்பிட்ட இலக்கில் கடத்தப்படும் பொருட்கள் பொருத்தப்பட வேண்டும். இந்நிகழ்ச்சியின்போது இப்பரதங்களில் ஏற்படும் அமைப்புப்பாங்கு மாற்றம் (Conformational Change) பிணைந் திருக்கும் பொருட்களைச் சவ்வின் மறுபுறமுள்ள நீர்மத்தினுள் வெளிப்படுத்த உதவுகிறது. பிணையுற்ற பொருட்கள் தாங்கிப் புரதங்களைவிட்டுப் பின்னர் விலகி, இடப்பெயர்வு முற்றுப்பெறுகிறது.

அமைப்புப்பாங்கு மாற்றம் ஒன்று ஏற்படுதல் தேவைப்படுவதால் இந்த விதமான இடப்பெயர்வின் மூலம் மூலக்கூறுகள் அயனிகள் வேகமாக இடம்பெயர முடிவதில்லை. இவ்வகையான இடப்பெயர்வு உயிர்ப்பு உள்ளெடுப்புச் செயலாகவோ அல்லது உயிர்ப்பற்ற உள்ளெடுப்புச் செயலாகவோ நிகழலாம். மேலும், உறவில் வேறுபட்ட பல்வேறு தளப்பொருட்களை ஒரே தாங்கிப்புரதம் இச்செயல் மூலம் கடத்த முடியும். உயிர்ப்பற்ற உள்ளெடுப்புச் செயலாகச் சிலசமயம் பரவுதல் செயலும் இதற்கு உதவுகிறது. இப்பரவுதல் செயலானது உயிர்ம ஆற்றலைப் பயன்படுத்தாமல் மின்தேவியத் திறன் வாட்டத்திற்கு இணங்க நிகழும் ஒரு செயலாக விளங்குகிறது. உயிர்ப்பு உள்ளெடுப்புச் செயலாக இது நிகழ்ந்தால், கீழ்க்கண்ட இரு விதங்களில் ஒன்றினால் நிகழ்கிறது.

1) முதல்நிலை உயிர்ப்புக் கடத்துதல் (Primary active transport)

இவ்வகைக் கடத்தலில் கடத்தியாக விளங்கும் சவ்வுப் புரதங்கள் உந்திச்செலுத்திகளாக (Pumps) செயல்படுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சிக்கு வளர்சிதைமாற்றச் செயல்களின் மூலம் உருவாகும் ஆற்றல் துணைபுரிகிறது. எடுத்துக்காட்டாக ATP–யின் நீராற்பகுப்பினால் வெளிப்படும் ஆற்றல் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

படம்–9



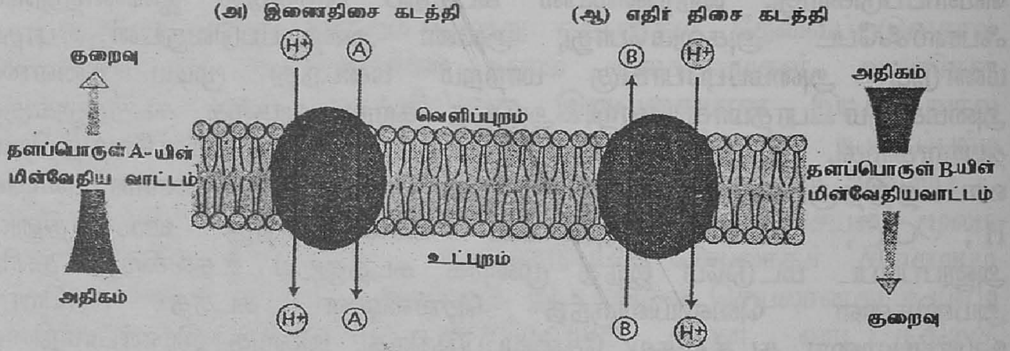
மூடிய துளையை அமைக்கும்போது இச்சவ்வுப்புரதம், கடத்தப்படும் அயனியையும், ஆற்றல் தரும் ATP–யை பிணைத்துக் கொள்ளும் இலக்குகளையும் செல்லின் உட்புறமாக வெளிப்படுத்துகிறது. இந்நிலையில், செல்லிலிருந்து கடத்தப்படவிருக்கும் அயனியை, அதனைப் பிணைக்கும் இலக்கில் பொருத்திக்கொள்வதுடன் ATP–யின் உதவியால் ஃபாஸ்ஃபரஸ் ஏற்றம் அடைகிறது. இந்நிலையில் கடத்திப்புரதம் அமைப்புப்பாங்கு மாற்றம் அடைந்து திறவுற்ற துளையை ஏற்படுத்துகிறது. இதனால் பிணையுற்ற அயனி ஊடகத்தை நோக்கி வெளிப்படுகிறது. இந்நிலையில் கடத்திப் புரதத்தில் இணைந்துள்ள ஃபாஸ்ஃபேட் அகலும்போது, அயனி அகற்றப்படுவதுடன், புரதம் மீண்டும் அமைப்புப்பாங்கு மாற்றம் மடைந்து மூடிய தளையை அமைக்கும் புரதமாக மாறி, அடுத்த சுற்று அயனிக் கடத்தலுக்குத் தயாராகிறது. இந்த விதமான அயனிக் கடத்தல் மின்வேதித்திறன் வாட்டத்திற்கு எதிராக நிகழ முடியும். தாரங்களின் பிளாஸ்மா சவ்வில் H^+, Ca^{2+}, போன்ற அயனிகள் செல்லிலிருந்து ஊடகத்தினுள் அனுப்பப்பட மட்டுமே இந்த முறைக் கடத்துதல் உதவுகிறது. தனிம அயனிகளை வெளியிலிருந்த செல்லினுள் கடத்த மற்றொரு உயிர்ப்புமுறை கடத்துதல் தேவைப்படுகிறது. இதற்கு இரண்டாம்நிலை உயிர்ப்பு முறை கடத்துதல் என்று பெயர்.

2) இரண்டாம்நிலை உயிர்ப்பு முறை கடத்துதல் (Secondary Active Transport)

இந்நிகழ்ச்சிக்கு H^+-ATPase என்ற நொதி உதவுகிறது. பிளாஸ்மா சவ்விலும் நுண்குமிழ்பைச் சவ்விலும் காணப்படும் இந்நொதியின் உதவியால் சைட்டோபிளாசத்திலிருந்து புரோட்டான்கள் (H^+) வெளியேற்றப்படுகின்றன. இதனால், வெளியே H^+ அயனியின் செறிவு அதிகமாகி, சைட்டோபிளாசத்திற்கு வெளியேயும் உள்ளேயும் pH வேறுபாட்டால் எற்படும் வாட்டம் ஒன்றை உருவாகிறது. H^+ அயனியால் இவ்வாறு உண்டாகும் மின்வேதியல் திறன் வாட்டம் ஓர் ஆற்றலைத் தந்து உதவுகிறது. அயனித் தாங்கிகளாக விளங்கம் புரதங்கள், இந்த ஆற்றலை அயனிக்கடத்துதலுக்கான விசையாகப் பயன்படுத்தகின்றன. புரோட்டான் இயங்கு விசை (protomotive force) என்று பெயர். இதனைப் பயன்படுத்தி அயனிகளைக்கடத்தும் தாங்கிப் புரதங்களில் இரு வகைகள் உள்ளன. 1. இணைதிசைக் கடத்திப் புரதங்கள் (Symporter Proteins) **2.** எதிர்திசைக் கடத்திப் புரதங்கள் (Antiporter Proteins). இவற்றுள் முதல் வகை H^+ அயனிகள் கடத்தப்படும் திசைக்கு இணையான திசையில், ஆனால் மின் வேதியல் திறன் வாட்டத்திற்கு எதிரான திசையில் அயனிகளைக் கடத்தும்

கடத்திகளாகும். இரண்டாவது வகை H^+ அயனிகள் கடத்தப்படும் திசைக்கு எதிரான திசையிலும், மின் வேதியல் திறன் வாட்டத்திற்கு எதிரான திசையில் அயனிகளைக் கடத்தும் கடத்திகளாகும். இந்த இரு வகைக் கடத்திகளும் மின்வேதியல் திறன் வாட்டத்திற்கு எதிராக அயனிகளைக் கடத்துகின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இதற்கான ஆற்றலை ATP–நீராற்பகுப்பின் மூலம் பெறாமல் புரோட்டான் (H^+) இயங்கு விசை மூலம் பெற்று அயனிகளைக் கடத்துகின்றன (படம்–10).

படம்–10



2.2.3. வேரில் அயனிகளின் இடப்பெயர்வு (Transport of ions in roots)

வேர் சைலத்தின் நீர் ஓட்டச் செயலின்போது வேரினால் உள்ளெடுக்கப்பட்ட தனிமஅயனிகளும் சேர்ந்து கடத்தப்படுகின்றன.

ஊட்டத்தனிமங்கள் சவ்வின் வழியாக செல்களினுள் கடத்தப்படுதல் எவ்வாறு ஒழுங்குபடுத்தப்பட்ட செயலாகச் நிகழ்கிறதோ அதேபோல் வேர்ப் பரப்பிலிருந்து புறணி வழியாகச் சைலத்தினுள் தனிம அயனிகள் இடம் பெயர்வதும் நிகழ்கிறது. இது கீழ்க்கண்ட இரு செயல்களினால் நிகழ்கிறது.

i) சைட்டோபிளாச புற வழி இடப்பெயர்வு (Transport Through Apoplast)

செல் சுவர், நீர் உட்புகுதலை எவ்வாறு தடை செய்வதில்லையோ அதேபோல் ஊட்டத் தனிம அயனிகளுக்கும் தடைவிதிப்பதில்லை. வேரின் அனைத்து செல்களும் செல் சுவரினால் பிரிக்கப்பட்டிருப்பதால், உள்ளீர்க்கப்படும் நீருடன் சேர்ந்து அனைத்து செல்களின் செல் சுவர் வழியாகவும், செல் இடைவெளிகள் வழியாகவும் அயனிகள் எளிதில் பரவுதல் அடையமுடியும். வேரின் புற அடுக்கிலிருந்து சைலம் வரை விரவியுள்ள அனைத்துச் செல்களின் செல்சுவர் தொடர்ச்சியும், செல் இடைவெளிகளும் கொண்ட பகுதிக்குச் சைட்டோபிளாச புறப்பகுதி என்று பெயர். இந்தத் தொடர் வழியாக தனிம அயனிகள் கடத்தப்பட்டு சைலத்தை அடையும் நிகழ்ச்சிக்குச் சைட்டோபிளாச புறவெளி இடப்பெயர்வு என்று பெயர்.

ii) சைட்டோபிளாசத் தொகுப்பு வழி இடப்பெயர்வு (**Transport through symplats)**

புறஅடுக்குச் செல்களில் தொடங்கி உள்புறணி செல்கள் வரை பிளாஸ்மோடெஸ்மாக்கள் மூலம் இணைந்துள்ள சைட்டோபிளாச வலைப்பின்னல், இவ்வணைத்துச் செல்களின் பிளாஸ்மா சவ்வு, ஆகிய யாவும் சேர்ந்த பகுதிக்குச் சைட்டோபிளாசத் தொகுப்பு வழி என்று பெயர்.

வாஸ்குல உருளைக்கும், புறணிக்குமிடையே உள்ள அகத்தோல் செல்களில் காஸ்பேரியத் தடிப்பு இருப்பதால் புறணியிலிருந்து வாஸ்குல உருளையின் சைலத்திற்குள் அயனிகள் சைட்டோபிளாச புற வழி இடப்பெயர்வு அடைய முடிவதில்லை. வேரின் வளர்ச்சிப்பகுதியை விட வேர்த்தூவிப் பகுதியே அதிக அளவில் அயனிகளை உள்ளெடுத்துக் கொள்கிறது. வேரினை அடைந்த அயனிகள் உடனடியாக வேர் செல்களில் பிளாஸ்மா சவ்வைக் கடந்து சைட்டோபிளாசத் தொகுப்பு வழி இடப்பெயர்வடையத் தொடங்குகிறது அல்லது புறஅடுக்குச் செல்களின் சவர்களுக்கிடையே பரவுதலடைகின்றன. அதாவது சைட்டோபிளாச புறவெளி இடப்பெயர்வைச் செய்கின்றன. இதேபோல் புறணி செல்களிலும் அதாவது சைட்டோபிளாச புற வெளி, சைட்டோபிளாசத் தொகுப்பு வழி ஆகிய இரண்டின் மூலம் இடப்பெயர்வு நிகழ்கிறது. சைட்டோபிளாசத் தொகுப்பு வழி இடப்பெயர்வின் போது பெரும்பாலும் பிளாஸ்மோடெஸ்மாக்கள் மூலம் இடப்பெயர்வு அடைகின்றன. எப்படி இருப்பினும் அகத்தோல் செல்களை அடைந்தவுடன் அங்கு காஸ்பேரியத் தடிப்பு உள்ள காரணத்தினால், வாஸ்குல உருளைக்கு அனுப்பப்படுதல் சைட்டோபிளாசத் தொகுப்பு வழி இடப்பெயர்வு மூலம் மட்டுமே நிகழ முடியும். பல தாவரங்களின் வேர்களில் அனைத்து அகத்தோல் செல்களும் காஸ்பேரியத் தடிப்பைப் பெற்றிருப்பதில்லை. புரோட்டோசைல முனைவுகளுக்கு எதிராக அமைந்த அகத்தோல் செல்களில் இத்தடிப்புகள் இருப்பதில்லை. இச்செல்களுக்குப் பாதை செல்கள் (passage cells) என்று பெயர். இவற்றின் வழியாக சைட்டோபிளாச புறவெளி மூலம் பறணியிலிருந்து சைலத்திற்கு நீருடன் சேர்ந்து அயனிகளும் கடத்தப்படுகின்றன. சைலத்தினுள் இவ்வாறு கடத்தப்பட்ட அயனிகள் பின்னர் சைலத்தின் செல்களுக்கிடையே சைட்டோபிளாச புறவெளி மூலம் மட்டுமே கடத்தப்படுகின்றன. சைலத்தின் செல்களில் புரோட்டோபிளாஸ்ட் இல்லாததே இதற்குக் காரணமாகும். அத்துடன் அகத்தோல் செல்களின் காஸ்பேரியத் தடிப்பு சட்டோபிளாச புற வழிக்கடத்தலை மீண்டும் தடுப்பதால், சைலத்தை அடைந்த அயனிகள் திரும்பவும் புறணிசெல்களுக்குப் பின்னோக்கிக் கடத்தப்பட வாய்ப்பில்லை. இதன் காரணமாக வேரை சூழ்ந்துள்ள பகுதியை விட மிக அதிக செறிவில் சைலத்தினுள் இயனிகள் சேர்க்கையுற முடிகிறது. இதற்கு சைலத்தில் ஏற்றமடைதல் (Xylem

loading) என்று பெயர். இவ்வாறு சைலத்தில் அதிக அளவில் அயனிகள் ஏற்றமடைந்ததும் அங்குள்ள டிரக்கியரி மூலங்களின் நீர் மூலம் தண்டினை நோக்கி சாரேற்றச் (ascent of sap) செயல் மூலம் மேலே கடத்தப்படுகின்றன.

2.3 தனிம நெருக்கடியும் பயிர் மேலாண்மையும்

நிலத்தில் மிகையான உப்புச்சத்து இருப்பதால் தாவரங்களுக்கு ஏற்படும் நெருக்கடி தனிம நெருக்கடி எனப்படுகிறது. பொதுவாகப் பாலை நிலங்களிலும், கழிமுகப் பகுதிகளில் உள்ள நிலங்களிலும் இந்நிலை காணப்படுகிறது. இருப்பினும் பாசன நீரின் மூலம் வேளாண்மை செய்யப்படும் நிலங்களிலும் சிலசமயம் உப்புக்கள் அதிகமாகச் சேர்க்கை அடைவதால், பயிர் தாவரங்களுக்கு இந்த நெருக்கடி ஏற்படுகிறது.

2.3.1. தனிம நெருக்கடியால் தாவரங்களுக்கு ஏற்படும் பிரச்சனைகள்

இரு முக்கிய பிரச்சனைகளை இந்நிலையில் தாவரங்கள் சந்திக்க நேரிடுகிறது.

அ) எதிர்மறை ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறன் கொண்ட நிலத்திலிருந்து நீரை உறிஞ்சவேண்டிய கட்டாயம்.

ஆ) நச்சுத்தன்மை வாய்ந்த சோடியம், களோரின், கார்போனேட், போன்ற அயனிகளின் மிகையான செறிவினை எதிர் கொள்ளுதல்.

ஒரு சில தாவரங்கள் உவர் சதுப்பு நிலங்களிலேயே வாழ்கின்றன. இதற்கேற்றார்போல் தகவமைவு பெற்ற இத்தாவரங்கள் ஹாலோஃபைட்டுகள் (halophytes) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. மிகையான உப்புத்தன்மையைத் தாங்கி வளரக்கூடிய இத்தாவரங்களைக் கட்டாய உவர் சதுப்புத் தாவரங்கள் (obligate halophytes) எனக் கூறிவிட முடியாது. ஏனெனில், உவர்த்தன்மை அற்ற நிலத்திலும் இவை இயல்பாக வளரும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன. அனால், அங்கு இயற்கையில் வளரும் தாவரங்களுடன் போட்டி போட்டு வளரமுடியாத காரணத்தால் இவை அதிக எண்ணிக்கையை அடைய முடிவதில்லை என்பதே உண்மை. உப்புச்சத்தை இயலபான செறிவில் பெற்ற நிலங்களில் வளரும் பயிர்த்தாவரங்கள் அனைத்தும் கிளைக்கோஃபைட்டுகள் (glycophytes) எனப்படுகின்றன.

பீட்ரூட், தக்காளி, கீரை போன்ற சில குளிர்த் தாவரங்கள், நிலத்தில் உப்பச்செறிவு அதிகரிக்கும்போது அதனைத் தாங்கி வளரும் தகுதியைப் பெற்றுள்ளன. இவற்றில் காணப்படும் சில உள்ளார்ந்த வாழ்வியல் பண்புகள் இதற்கு உதவுகின்றன. ஆனால், பெரும்பாலான பயிர்த்தாவரங்கள் மிகையான உப்புத் தன்மையினைத் தாங்கி வளரும் தன்மையற்றவை. எனவே இந்நிலை ஏற்படும்போது அதறகேற்ற

வேளாண் நடவடிக்கைகளைக் கடைப்பிடிக்க வேண்டியது தேவை யாகிறது.

2.3.2. தனிம நெருக்கடிக்குக் கட்டாயப்படுத்தப்படும் பயிர்த் தாவரங்களில் ஏற்படும் வாழ்வியல் பண்புகள்

குறைவான மூலக்கூறு எடை பெற்ற சில புரதங்கள் இத்தாவரங்களில் தோன்றுவது கண்டறிப்பட்டுள்ளது. இப்புரதங்களுக்கு ஆஸ்மோட்டின்கள் (osmotins) என்று பெயர். இவை தனிம நெருக்கடியை எதிர்த்து தாவரம் வளர உதவுவதாகக் கருதப்படுகிறது.

உப்புச்சத்து அதிகரிப்பதால் ஏற்படும் நெருக்கடி நிலையில் பெரும்பாலான தாவரங்கள் அதிக அளவில் அப்சிசிக் அமிலத்தை உருவாக்குகின்றன. இவ்வாறு தோன்றும் அப்சிசிக் அமிலம் ஆஸ்மோட்டின் புரத உற்பத்திக்கான படியெடுத்தலைத் தூண்டி தாவரத்தைப் பாதுகாக்க உதவுகிறது.

உப்புச்சத்து மிகையான நில நீரின் ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறன் எதிர்மறை அளவு காரணமாகத் தாவரச் செல்கள் நீரை இழக்க நேரிடுகிறது. இந்நிலையில் அதற்கேற்ற அளவிற்கு, தாவர செல்களிலும் ஆஸ்மாசிஸ் இயல்திறனின் எதிர்மறை அளவு அதிகரிக்க வேண்டும். இதற்காகச் சில தாவரங்கள் புரோலைன், பீட்டாடைன், பல்வேறு கார்போஹைட்ரேட்டுகள் போன்றவற்றை உருவாக்கிக் கொள்கின்றன. பார்லி தாவரத்தில் செய்த சோதனைகள் அதனை மெய்ப்பிக்கின்றன. இவ்வாறு தகவமைத்துக் கொள்ளும் பண்பிற்கு ஆஸ்மாசிஸ் ஒழுங்குபடுதல் (osmoregulation) என்று பெயர். இதற்காகச் செல்களில் தோன்றும் சேர்மங்கள் இணக்கமுடைய கரைபொருட்கள் (compatible solutes) எனப்படுகின்றன.

உப்புச்சத்துமிக்க நிலத்தில் வளரும் புகையிலைத் தாவரங்களில் வேர் செல்களின் கொள்ளளவு இயல்பான நிலத்தில் வளரும் தாவரத்தின் செல்களின் அளவில் ஐந்தில் ஒரு பங்காகவே உள்ளது. Na^{+}/Ca^{2+} விகிதாச்சாரத்தில் அதிகமுள்ள சூழ்நிலையில் வளரும்போது இவற்றின் புறணி செல்கள் குறுகிவிடுவதுடன் நீட்சியுமடைகின்றன. இவற்றின் செல் சுவர் இயல்பான நிலத்தில் வளரும் தாவரங்களின் செல் சுவரைவிட நலிவுற்றுக் காணப்படுகிறது. ஆஸ்மாசிஸ் ஒழுங்கிற்கான சேர்மங்களை உருவாக்க அதிக அளவில் கார்பன்களைப் பயன்படுத்துவதே இதற்குக் காரணமாகும்.

2.3.3. பயிர் மேலாண்மை நடவடிக்கைகள்

உப்பசத்து மிக்க நிலங்களில் வளரும் தாவரங்கள் போதுமான அளவு பொட்டாசியத்தை எடுத்துக்கொள்ள முடிவதில்லை. சோடியம் அயனிகள் பொட்டாசியம் அயனிகளுடன் உள்ளெடுப்பில் போட்டி போடுவதே இதற்குக் காரணமாகும். அதாவது சோடியம் அயனிகள் அதிகமுள்ள நிலையில் பொட்டாசியம் உள்ளெடுக்கும் இயக்க முறை தாவரங்களில் குறைவதுடன் K^+ அயனிக்கு மாற்றாக Na^+ அதிகம் எடுத்துக்கொள்ளும் நிகழ்வும் அதிகமாகிறது. இதனால் தாவரத்திற்குச் சோடியம் நச்சு ஏற்படுவதுடன் K^+ பற்றாக்குறைளால் ஏற்படும் அறிகுறிகளும் தோன்றுகின்றன. இதனைத் தவிர்க்க கால்சியம் உரமளித்தல் மிகவும் தேவையாகும். சவ்வுகளை Na^+ நச்சிலிருந்து கால்சியம் பாதுகாத்து அவற்றின் கூறுபடாநிலையைத் தக்கவைக்க உதவுகிறது. இதனால் அயனிகள் K^+ ஒழுகிச் செல்வது தடுக்கப் படுவதுடன் Na^+ உள்ளெடுக்கப்பவது தடுக்கப்படுகிறது. எனவே, உப்புத்தன்மை அதிகமுள்ள விளைநிலங்களில் கால்சியம் உரமிட்டுப் பொட்டாசியம் பற்றாக்குறையினைத் தவிர்க்கலாம்.

இதற்காக ஜிப்சம் ($CaSO_4$) சில சமயம் நிலத்திற்கு அளிக்கப்படுகிறது. இதனால் நிலத்திற்குக் கால்சியம் கிடைப்பதுடன் அதற்கு அமிலத்தன்மையும் ஏற்படுகிறது. இது K^+ அயனி உள்ளெடுப்பை உயர்த்துவதுடன் Na^+ நீர் ஓட்டத்தில் வழிந்து விடுவதால் அதன் உள்ளெடுப்பும் தடுக்கப்படுகிறது.

உப்புச்சத்துமிக்க நிலத்தில் வளரும் பயிர்த்தாவரங்களில் ஒரு சில மட்டுமே பாதுகாப்புப் புரதமாகிய ஆஸ்மோட்டின் புரதங்களை உருவாக்குகின்றன. மற்ற தாவரங்களில் இதனைத் தூண்ட குறிப்பிட்ட அளவு அப்சிசிக் அமிலம் அளிப்பது சிறந்தது. அப்சிசிக் அமிலம் ஆஸ்மோட்டின் புரத உற்பத்திக்கானப் படியெடுதடதல் செயலைத் தூண்டும் தன்மை பெற்றிருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும்.

உயிர்த்தெழில் நுட்ப முறையில் ஒன்றான ஜீன் பொறியியல் மூலம் உவர் தன்மையைத் தாங்கும் ஜீனைப் பயிர்தாவரங்களில் புகுத்தி, பாலை நிலங்களிலும் அவற்றை வளர்க்கும் முறை நவீன மேலாண்மை முறையாகும். எடுத்துக்காட்டாக சென்னையில் உள்ள எம்.எஸ்.சுவாமிநாதன் ஆய்வு நிறுவத்தினர் உவர்த் தன்மையைத் தாங்கும் ஜீனை *அவிசென்னியா மெரைனா* (*Avicennia marina*) தாவரத்திலிருந்து பிரித்தெடுத்து, எண்ணிக்கை பெருக்கமடையச் செய்ததுடன் பயிர் தாவரங்களுக்கு மாற்றி ஜீன்மாற்றுத் தாவரங்களையும் (transgenic plants) உருவாக்கியுள்ளனர்.

இத்தாவரங்கள் உவர்ச்சத்து நிலத்திலும் வளரும் தன்மை பெற்றுள்ளன.

இதேபோல் *எஸ்கரீச்சியா கோலி* (*Escherichia coli*) பாக்டீரியத்தின், உப்புத்தன்மையைத் தாங்கும் திறன் பெற்ற ஜீன் (D–ஜீன்) ஒன்று இருப்பது அறியப்பட்டு, அது சோளத்தாவரத்திற்கு மாற்றப்பட்டு ஜீன்மாற்றுத் தாவரம் ஒன்று உருவாக்கப்பட்டுள்ளது.

அதிக சூரிய ஒளியினைத் தாங்கிப் பாலை நிலத்தில் தாவரங்கள் வளர வேண்டுமானால், இச்சூழலில் அத்தாவரங்களில் உண்டாகும் செயலூக்க ஆக்ஸிஜன் இனமாகிய ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடுகள் (H_2O_2) செயல்படவிடாமல் நடுநிலைப்படுத்த வேண்டும். H_2O_2 செல்களை அழித்துவிடும் தன்மை பெற்றிருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். இச்செயலைச் செய்வதற்கான நொதி ஒன்று *எ.கோலி* (*E.coli*) பாக்டீரியங்களில் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இதன் ஜீன் உயர் தாவரங்களுக்கு ஜீன்பொறியியல் முறையில் மாற்றப்பட்டு உருவாக்கப்பட்ட ஜீன்மாற்றுத் தாவரங்கள் அதிக சூரிய ஒளியினைத் தாங்கி வளர்வதுடன் உப்புச்சத்தினையும் தாங்கி வளர்கின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இந்த ஆய்வுகள் அனைத்தும் விவசாயிகளுக்குப் பயன்படும் வகையில் உள்ளன என்பதில் எந்தவித ஐயமும் இல்லை.

3. ஒளிச்சேர்க்கை
(Photosynthesis)

புவியில் வாழும் உயிரிகள் யாவும் அவற்றின் உயிர்வாழ்விற்கு சூரியனிலிருந்து பெறப்படும் ஆற்றலைத்தான் சார்ந்திருக்கின்றன. இந்த ஆற்றலை அறுவடைசெய்து தரும் ஒரே வாழ்வியல் செயல் ஒளிச்சேர்க்கையாகும். எனவே, உயிரியல் உலகில் மனிதன் உட்பட அனைத்து உயிரிகளும். பசுந்தாவரங்களால் நிகழ்த்தப்படும் இந்த ஒரு வாழ்வியல் நிகழ்வை நம்பியே வாழ்கின்றன. பூமிக்கோளின் ஆற்றல் வள ஆதாரத்தின் பெரும்பகுதி தற்போது நிகழ்ந்து வரும் ஒளிச்சேர்க்கை மூலமும், தொன்மைக்கால நிகழ்வின் விளைவால் கிடைத்து வரும் தொல்படிவ எரிபொருட்கள் (fossil fuel) மூலமும் வந்தவை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

ஆற்றல் உள்ளெடுக்கப்படாமல் கரிச்சேர்மங்களின் உற்பத்தி நிகழ முடியாது. ஒளிச்சேர்க்கைச் செயலில், பசுந்தாவரங்கள், பச்சையத்தின் உதவியால் ஒளியாற்றலைப் பயன்படுத்தி, கார்பன்டைஆக்சைடு (CO_2), நீர் பேன்ற எளிய தனிம மூலக்கூறுகளைத் தளப்பொருட்களாகக் கொண்டு, ஆற்றல் சேமிக்கப்பட்ட கார்போஹைட்ரேட்டுகள் உருவாவதுடன் ஆக்சிஜன் வளி மூலக்கூறுகள் (O_2) வெளியிடப் படுகின்றன. எனவே, சூரியகைப் பயன்படுத்தி நிகழும் உற்பத்திச் செயல் (synthesis using sun light) ஒளிச்சேர்க்கையாகும்.

ஒளிச்சேர்க்கை மூலம் உருவான கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் சேமிக்கப்பட்டிருக்கும். ஆற்றல் செல் செயல்கள் அனைத்திற்கும் பின்னர் பயன்படுவதுடன், அனைத்து வகை உயிரிகளின் ஆற்றல் ஆதாரமாகவும் திகழ்கிறது. எனவே, இந்த இன்றியமையாச் செயலை நிகழ்த்தும் ஒளிச்சேர்க்கை சாதனத்தின் நுண் அமைப்பைப் பற்றியும், இச்செயலின் இயங்கு முறையினையும் பற்றி தெரிந்து கொள்ளுதல் மிகத் தேவையாகும்.

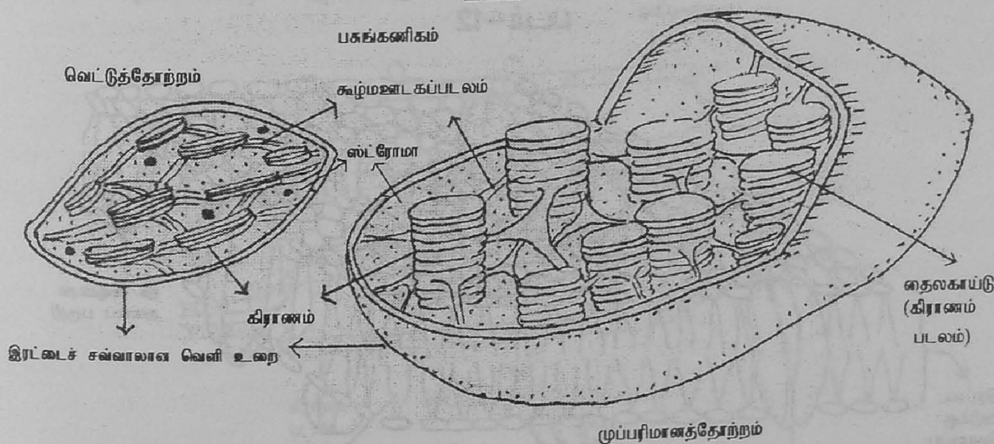
3.1. ஒளிச்சேர்க்கை சாதனத்தின் நுண் அமைப்பு

ஒளிச்சேர்க்கை செய்யும் யூகேரியோட் தாவரங்களில், இந்நிகழ்ச்சி பசுங்கணிகம் என்ற செல் நுண் உள்ளுறுப்பில் நிகழ்கிறது. ஒளிச்சேர்க்கை சாதனமாக விளங்கும் பசுங்கணிகம் இரட்டைச் சவ்வாலான உறை ஒன்றைப் பெற்றுள்ளது. ஒவ்வொரு சவ்வும் கொழுப்பு அடுக்குகள் இரண்டைப் பெற்றிருப்பதுடன் பல்வேறு வளர்சிதைமாற்றச் சேர்மங்களைக் கடத்தும் தொகுப்புகளையும் பெற்றுள்ளது.

தைலகாய்டுகள் (thylakoids) என்ற விரிவான ஒரு சவ்வத் தொகுதியை உட்புறம் பெற்றிருப்பதே பசுங்கணிகத்தின் சிறப்பியல் பாகும். ஒளிச்சேர்க்கை செயலுக்கான ஒளி ஈர்க்கும் நிறமிகள் அனைத்தையும் இச்சவ்வுத் தொகுதி பெற்றிருப்பதே இச் சிறப்பிற்குக் காரணமாகும். எனவே, இச்சவ்வுத் தொகுதியே ஒளிச்சேர்க்கை செயலின் ஒளிவினை நிகழும் இடமாகத் திகழ்கிறது. இச்சவ்வத் தொகுதி பசுங்கணிகத்தின் கூழ்மடகத்தில் (stroma) மூழ்கிக் காணப் படுகிறது.

தைலகாய்டுகள் இரு விதமான அமைப்புகளை உருவாக்கு கின்றன. இவற்றள் முதலாவது கிராணங்கள் (grana) என்ற அமைப்புகளாகும். ஒவ்வொரு கிராணமும் ஒன்றன்மேல் ஒன்றாக சீராக அடுக்கப்பட்ட சவ்வு வட்டில்களால் ஆனது. இச்சவ்வு வட்டில் ஒவ்வொன்றும் கிராணப் படலம் (granum lamella) என அழைக்கப் படுகிறது. அடுத்தடுத்துள்ள கிராணங்களின் சவ்வுவட்டில்களை இணைக்கும் வகையில் கூழ்மஊடகத்தின் முழுப்பரப்பையும் ஆக்கிரமிக்கும் தைலகாய்டு சவ்வுகள் இரண்டாவது அமைப்பாகும். இவை கூழ்மஊடகப் படலங்கள் (stroma lamellae) எனப்படுகின்றன (படம் 11).

படம்–11



ஒளிச்சேர்க்கையின் போது உள்ளெடுக்கப்படும் CO_2–வை குறைதலுறச் செய்யும் வினை கூழ்மஊடகத்தில் நிகழ்கிறது. இதற்கு உதவக்கூடிய கரையும் தன்மை பெற்ற நொதிகள் இங்கு காணப்படுகின்றன. இந்நொதிகளுடன், பசுங்கணிகத்திற்குறிய DNA, RNA, ரிபோசோம்கள் போன்றவைகளும் இங்கு காணப்படுகின்றன.

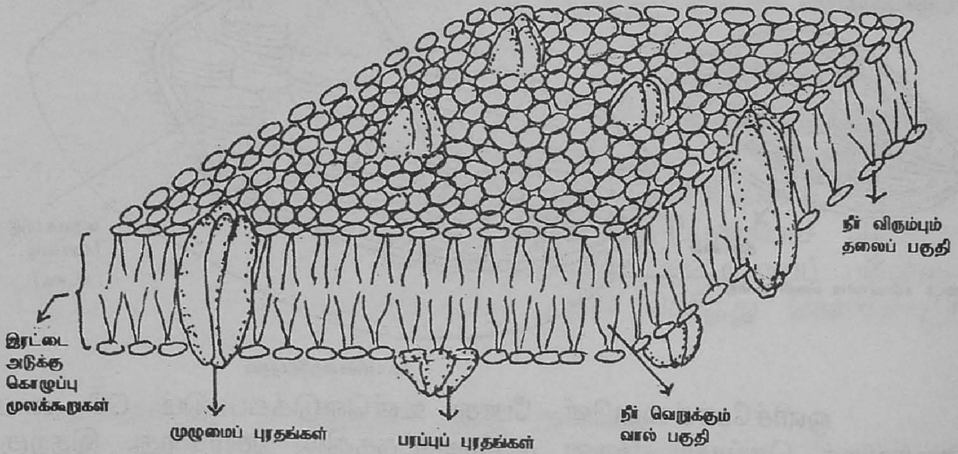
பசுங்கணிகத்தின் பல்வேறு புரதங்கள் அதனுள் காணப்படும் DNA, RNA, ரிபோசோம்கள் உதவியுடன் நிகழும் படியெடுத்தல், தகவல் பெயர்வு போன்ற செயல்கள் மூலம் உருவாக்கப்படுகின்றன. மற்ற

புரதங்கள், குறிப்பாக நொதிப் பரதங்கள் மட்டும், உட்கரு DNA–யின் சங்கேதக்குறிப்பிற்கு ஏற்ப சைட்டோபிளாச ரிபோசோம்களில் உற்பத்திசெய்யப்பட்டுப், பசுங்கணிகத்திற்கு எடுத்து வரப்படுகின்றன. இந்தக் குறிப்பிடும்படியான பணிப்பாகுபாடு பசுங்கணிகத்தைப் பகுதித்தர்சார்புடைய (semi-autonomous) செல் உள்ளுறுப்பாக செயல்பட உதவுகிறது.

3.1.1. தைலகாய்டு சவ்வின் நுண் அமைப்பு

நுண் அமைப்பில் தைலகாய்டு சவ்வு பாய்மத்தேமல் (fluid mosaic) முன்மாதிரி அமைப்பை வெளிப்படுத்துகிறது. அதாவது, ஃபாஸ்ஃபோலிப்பிடு மூலக்கூறுகளால் ஆன இரட்டை அடுக்கில் மூழ்கிய நிலையில் உள்ள புரதங்களைப் பெற்றிருக்கிறது. ஒளிச் சேர்க்கைக்கு உதவும் பல்வேறு வகையான புரதங்கள் தைலகாய்டு சவ்வில் புதையுண்டு காணப்படுகின்றன. இவற்றில் சில தைலகாய்டு வட்டிலின் இருபுறமும், அதாவது, வட்டில்குழி, சூழ்மஊடகம் ஆகிய இரு பகுதிகள் வரை விரிவடைந்து காணப்படுகின்றன. இவ்வகைப் புரதங்கள் முழுமைச் சவ்வுப் புரதங்கள் (integral membrane proteins) எனப்படுகின்றன. இவை நீர் வெறுக்கம் அமினோ அமிலங்களை அதிக அளவில் பெற்றுள்ளன. எனவே, சவ்வின் நீர்மத்தன்மையற்ற பகுதியல் அதிகப் பிடிப்புற்ற நிலயில் இவை காணப்படுகின்றன (படம் 12).

படம் –12



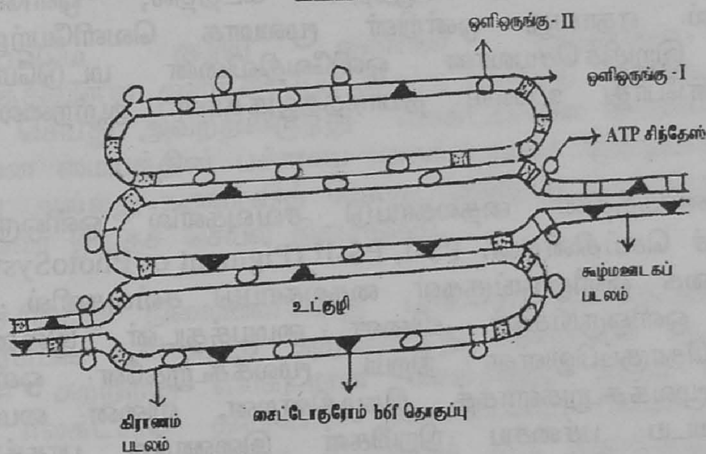
தைலகாய்டு சவ்வின் நுண்ணமைப்பு (∴புளுயிட் மொசைக் மாதிரி)

ஒளிவினையில் பங்குகொள்ளும் நிறமித்தொகுப்புகளின் வினை மையங்கள் (reaction centres), ஒளியை ஈர்த்து ஆற்றலை மறுவினை மையத்திற்கு அனுப்ப உதவும் உணர்வித் தொகுப்புகள் (antenna compexes), எலக்ட்ரான் மாற்று வினைக்கு உதவும் நொதிகள் ஆகிய

அனைத்தும் முழுமைச் சவ்வுப் புரதங்களாக தைலகாய்டு சவ்வில் காணப்படுகின்றன.

நிறமித்தொகுப்பகளை அமைக்கும் பச்சைய நிறமிகளும், துணை நிறமிகளும், தைலகாய்டு சவ்வின் புரதங்களுடன் பிணையுற்று, நிறமிப் புரதங்கள் என்ற அமைப்பில் காணப்படுகின்றன. பெரும்பாலான நிறமிகள், புரத மூலக்கூறுகளின் பெப்டைடு கூறுகளுடன் இணைவு பெற்றுள்ளன. புரதத்தின் ஹிஸ்டிடைன் பகுதிகள், பச்சைய மூலக் கூறுகளின் மக்னீசியத்தைப் பிணைத்துக்கொள்ளும் இணைமிகளாகத் திகழ்கின்றன. எனவே, புரதத்திற்கும் நிறமிகளுக்குமிடையே உள்ள பிணைப்பு சகப்பிணைப்பற்ற ஒன்றாகும். ஒவ்வொரு நிறமித் தொகுப்பிலும், நிறமிகளுக்கிடையே உள்ள தூரமும் ஒன்றோடொன்று தொடர்பு பெற்றிருக்கும் விதமும் பெரும்பாலும் நிலையானவை. உணர்வித் தொகுப்பில் உள்ள ஒளிஈர்க்கும் நிறமிகள் எளிதில் ஆற்றலை மறுவினை மையத்திற்கு அனுப்ப இப்பண்புகள் ஏதுவாக உள்ளன. ஒளி ஒருங்கு II–இன் [Photo System-II (PS-II)] நிறமிகளுகளடங்கிய வினை மையம், உணர்த் தொகுப்பு, இவற்றோடு தொடர்புடைய எலக்ட்ரான் மாற்று வினைக்கு உதவும் பரதங்கள் ஆகிய அனைத்தும் கிராணம் படலங்களில் அமைந்திருக்கின்றன.

படம் –13



தைலகாய்டு சவ்வகளில் முழுமைப்புரதங்கள் விரவியுள்ள விதம்

ஒளி ஒருங்கு I–இன் (PS-I) நிறமிகளடங்கிய வினை மையம், உணர்வித் தொகுப்பு, இவற்றோடு தொடர்புடைய எலக்ட்ரான் மாற்று வினைக்கு உதவும் பரதங்கள், ATP உற்பத்திக்கு உதவும் ATP-ase நொதி ஆகிய அனைத்தும் கூழ்ம ஊடகப் படலங்களில் காணப்படுவதுடன் கிரானம் படலங்களின் விளிம்புகளிலும் காணப்படுகின்றன (படம்–13).

இரு ஒளி ஒருங்குகளையும் இணைக்க உதவும் சைட்டோகுரோம் தொகுதி இரு வகைப் படலங்களிலும் சீராக விரவிக்காணப்படுகின்றன.

3.2. ஒளிவேதி வினை (Photochemical Reaction)

ஒளி ஆற்றலை வேதியாற்றலாக மாற்றி, தயாரிக்கப்படும் உணவில் நிலையாற்றலாக சேமித்து வைக்கும் செயலே ஒளிச்சேர்க்கை செயலாகும். இச்செயலை உயர்த்தாவரங்கள், பாசிகள், ஒளிச்சேர்க்கை பாக்டீரியங்கள் ஆகியவை செய்கின்றன.

ஒளிக்கதிர்களின் ஃபோட்டான்களை ஈர்பதன் மூலம் பச்சைய மூலக்கூறுகள் கிளர்ச்சியுறுத்தப்படுகின்றன. ஃபோட்டான்களை ஈர்த்ததன் மூலம் பெற்ற ஆற்றலை, இப்பசியை மூலக்கூறுகள் வெப்பம், மிளிர்தல் (fluorescence), ஆற்றல் கடத்தல், ஒளிவேதிவினை ஆகியவற்றில் ஏதாவது ஒன்றின் மூலமாக வெளியேற்றுகின்றன. இவற்றுள் இறுதிச்செயலான ஒளிவேதிவினை மட்டுமே ஒளிச் சோக்கையின்போது உணவு தயாரித்தலுக்கான ஆற்றலைத் தந்து உதவுகிறது.

பசுங்கணிகத்தின் தைலகாய்டு சவ்வுகளில் ஒளிஒருங்குகளே இச்செயலைச் செய்கின்றன. PS-I, PS-II (Pigment or PhotoSystems I, II) என இருவகை ஒளிஒருங்குகள் தைலகாய்டு சவ்வுகளில் உள்ளன. ஒவ்வொரு ஒளிஒருங்கின் வினை மையத்துடன் இணைந்துள்ள உணர்வி தொகுப்பிலுள்ள நிறமி மூலக்கூறுகளே ஒளிஈர்க்கும் முதன்மை மூலக்கூறுகளாகத் திகழ்கின்றன. வினை மையத்தில் தனிச்சிறப்புடைய பச்சைய நிறமிகள் இணைந்த புரதத்தொகுப்பு காணப்படுகிறது. இங்குள்ள புரதத் துணை–அலகுகள், எத்தனை பச்சைய மூலக்கூறுகளுடன் இணைந்துள்ளனவோ அதைப்பொறுத்து வினைமையத்தின் பருமன் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. ஒரு சில ஒளிச்சேர்க்கை பாக்டீரியங்களில் 20 மதல 30 பாக்டீரிய பச்சைய நிறமிகளை மட்டுமே பெற்ற மிகச் சிறிய வினை மையம் காணப்படுகிறது. உயர்தாவரங்களில் 200 முதல் 300 பச்சைய மூலக்கூறுகளயும், ஒரு சில பாசிகளில் ஆயிரக்கணக்கில பச்சைய

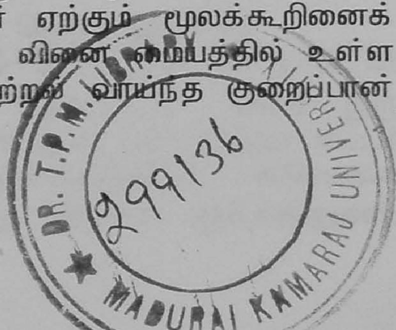
மூலக்கூறுகளையும் பெற்ற மிகப் பெரிய வினை மையங்கள் காணப்படுகின்றன.

நிறமிகள் ஒளி ஈர்த்து கிளர்ச்சியுறுத்தப்படுவதால் தோன்றும் ஆற்றல் வினை மையத்திற்கு அனுப்பப்படும் செயலுக்கு ஒத்த அதிர்வலை ஒட்டம் (resonance transfer) என்று பெயர். அந்தச் செயலின்போது ஈர்க்கப்பட்ட ஃபோட்டான்கள் ஒரு மூலக்கூறுளிருந்து மற்றொன்றிற்கு மாற்றப்படாமல், கிளர்ச்சியுறுத்தப்பட்டதால் ஏற்பட்ட ஆற்றல்கள் (excitation energy) மட்டும் மாற்றப்படுகின்றன. கதிரியக்கச் செயல் வழி ஆற்றல் மாற்றத்தைப் போன்றதாக இது இருப்பதில்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

உணர்வித் தொகுப்பிலுள்ள நிறமிகளுக்கிடையே நிகழும் ஆற்றல் மாற்றம் முற்றிலும் ஒரு இயற்பியல் செயலாகும். ஏனெனில் ஆற்றலை மாற்றும் மூலக்கூறு எந்தவித வேதியல் மாற்றமும் அடைவதில்லை. ஆனால், வினை மையத்தில் நிகழும் ஆற்றல் மாற்றத்தின் போது ஆற்றலை மாற்றும் பச்சைய மூலக்கூறுகள் எலக்ட்ரான்களை மாற்றுவதன் மூலம் இச்செயலை நிகழ்த்துகின்றன. எனவே, மூலக்கூறுகளில் வேதிய மாற்றமும் நிகழ்கிறது. இந்த எலக்ட்ரான் மாற்றும் செயலே ஒளிவேதிவினை எனப்படுகிறது.

ஈர்க்கப்படும் சூரிய ஒளியின் முதன்மைப் பணி வினைமையத்திலுள்ள தனிச்சிறப்புப் பெற்ற பச்சைய மூலக்கூறுகளைக் கிளர்சியுறச் செய்து அவற்றிலிருந்து எலக்ட்ரானை வெளியேற்றுவதே யாகும் வினை மையத்தின் பச்சைய மூலக்கூறுகள் நேரடியாக ஒளியை ஈர்ப்பதாலோ அல்லது உணர்வித் தொகுப்பிலிருந்து மாற்றப்பட்டு வந்த ஆற்றலினாலோ இந்தச் செயல் நிகழ்கிறது.

கிளர்ச்சியுற்ற நிலையின்போது பச்சைய மூலக்கூறில் அதன் ஆற்றல் நிரம்பிய உள்வட்டச் சுற்றிலிருந்து குறைவான ஆற்றலுடைய வெளிவட்டச் சுற்றிற்கு எலக்ட்ரான் செல்கிறது. இந்த வட்டத்தில் பொதுவாக எலக்ட்ரான் தளர்வான நிலையிலேயே பிணைந்திருக்கும். எனவே, எலக்ட்ரான் ஏற்பியாக விளங்கும் ஒரு மூலக்கூறு அருகில் உள்ள நிலையில் இந்த எலக்ட்ரான் எளிதில் வெளியேற்றப்பட்டு விடுகிறது. இதனால் பச்சைய மூலக்கூறு எலக்ட்ரானை இழக்கநேரிடுகிலது. அத்துடன் எலக்ட்ரான் ஏற்கும் மூலக்கூறினைக் குறைதலடையவும் செய்கிறது. எனவேதான் வினை மையத்தில் உள்ள கிளர்ச்சியுற்ற பச்சைய மூலக்கூறு ஓர் ஆற்றல் வாய்ந்த குறைப்பான் எனக் கருதப்படுகிறது.



வினை மையத்தின் பச்சைய மூலக்கூறிலிருந்து வெளியேறிய எலக்ட்ரான் இவ்வாறு, ஏற்கும் மூலக்கூறுக்கு மாற்றப்படும். மாற்றப்படும் செயலே, எலக்ட்ரான் ஆற்றலை வேதியாற்றலாக மாற்ற உதவும் முதல் செயலாகும். இதற்கு ஒளிவேதிய நிகழ்வு (photochemical event) என்று பெயர். ஒளிச்சேர்க்கையின் ஒளிவினையின் போது இது நிகழ்கிறது.

ஒளிவேதிவினை நடந்த உடனேயே பச்சைய மூலக்கூறு எலக்ட்ரானை இழந்து ஆக்சிஜன்ஏற்ற நிலையை அடைகிறது. எலக்டரானை ஏற்ற மூலக்கூறு குறைதல் நிலையை அடைகிறது. எனவே, இதற்கு எலக்ட்ரான் கிடைக்கும் வாய்ப்பு ஏற்படும்போது அதனை இணைத்துக்கொள்ளும் திறன் அதிகமாகிறது.

பச்சைய மூலக்கூறிலிருந்து எலக்ட்ரானை ஏற்ற மூலக்கூறு உடனடியாக திரும்பவும் வினைமையத்தின் பச்சைய மூலக்கூறுக்கே கொடுத்துவிடுமேயானால் ஆற்றல் முழுதும் வெப்பமாக வெளியேற்றப்பட்டு விடும். அவ்வாறு நிகழ்வது ஒரு தேவையற்ற செயலாகும். பொதுவாக வினை மையத்தில் இது நிகழ்வதில்லை. மாறாக, எலக்ட்ரானை ஏற்ற ஏற்பி மூலக்கூறு தனது உபரி எலக்டரானை இரண்டாம்நிலை ஏற்பிக்கும், பின்னர் அதிலிருந்து மற்றொன்றிற்கும் கடத்துகிறது. இவ்வாறு கடத்தப்படும் நிகழ்ச்சிக்கு எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் வினை என்று பெயர்.

இதற்கிடையில் வினை மையத்தில் ஆக்சின்ஏற்ற நிலையில் உள்ள பச்சைய மூலக்கூறு எலக்ட்ரான் கொடுப்பி (electron donor) ஒன்றின் மூலம் எலக்ட்ரானைப் பெற்று குறைதலடைகிறது. அதாவது நேர்மின்சுமையை இழந்து இயல்பான மூலக்கூறாக மாறுகிறது. உள்தாவரங்களைப் பொறுத்தமட்டில் இந்த எலக்ட்ரான் கொடுப்பியாக நீர் மூலக்கூறு திகழ்கிறது. அத்துடன் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர்வினை நிகழும்போது ஆற்றல் மிக்க ATP மூலக்கூறுகள் உருவாகின்றன. இவ்வாறு ஒளி வேதி வினை மூலம் ATP–கள் உருவாவதற்கு ஒளிப்ஃபாஸ்ஃபரஸ் ஆக்கம் (Photophosphorylation) என்று பெயர்.

3.3 தைலகாய்டு சவ்வில் நிகழும் எலக்ட்ரான் மாற்றுச் செயல் - வழிப்பாதை (Electron Transport Pathway in Thylakoid membrane)

ஒளிச்சேர்க்கையின் ஒளிவினையின்போது தைலகாய்டு சவ்வில் நிகழும் எலக்டரான் மாற்றுச் செயல் வழிப்பாதையில் கீழ்க்கண்ட ஐந்து படிநிலைகள் காணப்படுகின்றன.

1. ஒளியினை ஈர்ப்பதால் பச்சைய மூலக்கூறு கிளர்ச்சியுறுதலும், முதல் எலக்ட்ரான் ஏற்பி குறைதல் அடைதலும்.
2. எலட்ரான்கள் ஒளிஒருங்க II–இல் இருந்து (PS-II) ஒளிஒருங்கு I–க்கு (PS-I) தொடர்ஓட்டமடைதல்.
3. நீர் ஆக்சிஜனேற்றமடைந்து பச்சைய மூலக்கூறுகளுக்குத் தேவையான எலக்ட்ரான் உற்பத்தி நிகழ்தல். இதற்கு ஒளிவழிப் பிளவு (Photolysis) என்று பெயர்.
4. இறுதி எலக்டரான் ஏற்பியாகிய $NADP^+$ குறைதலுற்று NADPH தோன்றுதல்.
5. வேதிஆஸ்மாசிஸ் (Chemiosmotic) செயல் மூலம் ATP–களின் உற்பத்தி நிகழ்தல்.

மேற்கூறிய அனைத்து வேதிச்செயல்களும் தைலகாய்டு சவ்வுகளில் காணப்படும் கீழ்க்கண்ட நான்கு முதன்மைத் தொகுப்புகளில் நடைறெறுகின்றன.

(1) ஒளிஒருங்கு–II (2) சைட்டோகுரோம்–B6f–தொகுப்பு

(3) ஒளிஒருங்கு–I (4) ATP–சிந்தேஸ்

தைலகாய்டு சவ்வின் முழுமைப்புரதங்களாகத் திகழும் இந்த நான்கு தொகுப்புகளும் கீழ்க்கண்ட மூன்று நிகழ்வுகள் ஏற்பட உதவுகின்றன.

(1) நீரின் அயனியாக்கச் செயல் மூலம் தைலகாய்டு O_2 குழிக்குள் வெளியேற்றப்படுதல்;

(2) தைலகாய்டு சவ்வின் கூழ்மஊடகப் பக்கமாக $NADP^+$ என்ற இறுதி எலக்ட்ரான் ஏற்பி NADPH–ஆகக் குறைதல் அடைதல்;

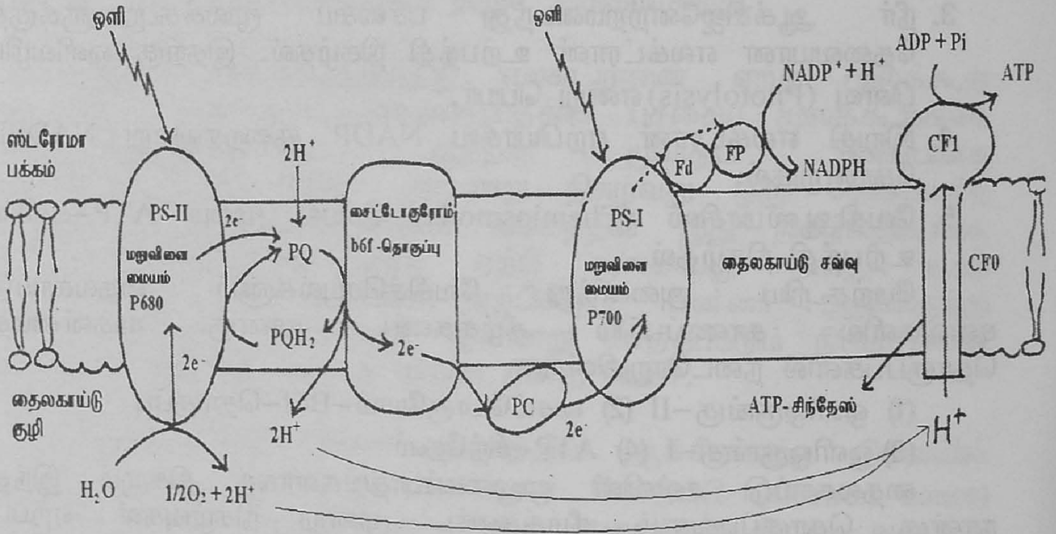
(3) அயனிகளைத் தைலகாய்டு குழிப்பகுதியிலிருந்து கூழ்மஊடகத்திற்குள் கடத்துவதன் மூலம் ATP–களை உற்பத்தி செய்து கூழ்மஊடகத்திற்குள் வெளியேற்றுதல்.

3.3.1. ஒளிஒருங்கு-II-ல் எலக்ட்ரான்மாற்றுத் தொடர் இயக்கம்

ஒளிஒருங்கு-II-ன் வினை மையத்தில் 32 மற்றும் 34 டால்டன் மூலக்கூறு எடையுடைய, முறையே D1 மற்றும் D2 என்ற இரு சவ்வுப்புரதங்கள் காணப்படுகின்றன. இவை தவர 680 நானோ மீட்டர் மற்றும் அதற்குக் குறைவான அலைநீளங்களுடைய கதிர்களை ஈர்க்கும் தனிச்சிறப்பு மிக்க P680 என்ற பச்சைய மூலக்கூறுகள்,

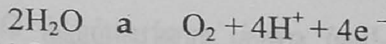
ஃபியோஃபைட்டின்கள் (Phaeophytins), கரோடினாய்டுகள் (crotenoids), பிளாஸ்டோகுவினோன்கள் (plastoquinones), பிளாஸ்டோசயனின்கள் (plastocyanins), ஆகிய அனைத்தும் இந்தச் சவ்வுப்புரதத்துடன் இணைந்துள்ளன. அத்துடன் O_2 உற்பத்திக்கு உதவும் சில சிறிய புரதக்கூறுகளும் இத்தொகுப்பில் காணப்படுகின்றன. இவை தைலகாய்டு சவ்வின் குழிப்பக்கம் நோக்கிய பரப்பில் ஒட்டிக் காணப்படுகின்றன.

படம் –14



PQ- பிளாஸ்டோகுவினோன்
Fd- ஃபெரிடாக்சின் PC- பிளாஸ்டோசயனின் FP- ஃபிளேவோ புரதம் ADP- அடினோசின் டைபாஸ்ஃபேட்
NADP- நிக்கோட்டினமைடு அடினின் டைநியூக்ளியோடைடு பாஸ்ஃபேட்

இதன் வினை மையத்தின் பச்சைய மூலக்கூறு ஒளி ஈர்த்து கிளர்ச்சியுறும்போது எலக்ட்ரானை இழந்து ஆக்சிஜன்ஏற்ற நிலையை அடைகிறது. இதன் மூலம் PS-II நீரை அயனியாக்கமடையச் செய்யும் திறனைப் பெறுகிறது. இதனால் நீர் மூலக்கூறு கீழ்க்கண்டவாறு பிளவுறுகிறது.



$$2H_2O \;\; a \;\; O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

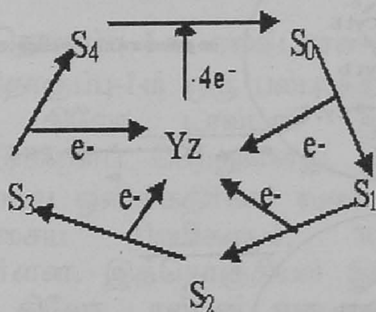
இந்நிகழ்ச்சிகரு ஒளிவழிப்பிளவு (photolysis) என்று பெயர்.

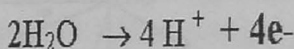
அதிக நிலைத்தன்மை பெற்ற நீர் மூலக்கூறை அயனியாக்கமடையச் செய்து ஈக்சிஜனை வெளியேற்றுவது என்பது மிகக் கடினமான செயலாகும். ஆனால் PS-II–வில் உள்ள ஆக்சிஜன் வெளியேற்றும் புரதத்தொகுதி ஒன்றினால் மட்டுமே இது சாத்தியமாகும்.

புவி மண்டலத்தில் உள்ள ஏறத்தாழ மொத்த அக்சிஜனும் இந்த ஒரு செயலின் மூலமே தோன்றியவை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

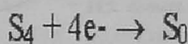
நீரின் இந்த அயனியாக்கச் செயலால் தோன்றும் புரோட்டன்கள் (H^+) தைலகாய்டு வட்டில்களின் குழிப்பகுதிக்குள் வெளியேற்றப்படுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சிக்கு உதவும் O_2-வெளியிடும் புரதத்தொகுதி தைலகாய்டு சவ்வின் உட்பரப்பில் காணப்புடுவதே இதற்குக் காரணமாகும். நீரின் இந்த ஒளிவழிப்பிளவுச் செயலை விளக்க "S–நிலை இயக்கம்" (S–state mechanism) என்ற ஒரு கோட்பாடு தரப்பட்டுள்ளது. இதன்படி நீரை அயனியாக்கமடையச் செய்யும் நொதி அடுத்தடுத்து ஐந்து நிலைகளில் (S_o என்ற நிலையில் தொடங்கி S_4 என்ற நில வரை) ஆக்சிகரணமடைந்து எலக்ட்ரான்களை அகற்றுவதன் மூலம் இச்செயலை நிகழ்த்துவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஒவ்வோர் ஆக்சிகரணச் செயலின்போதும் ஒரு எலக்ட்ரான் அகற்றப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கது. இந்த ஐந்து நிலைகளில் S_4 நிலை அதிக நிலைத் தன்மையற்றது. எனவே, இரு நீர் மூலக்கூறுகளுடன் உடனடியாக வினை புரிந்து அவற்றை அயனியாக்கமடையச் செய்து $4H^+$ மற்றும் $4e^-$ ஆகியவற்றை வெளியிட உதவுகிறது. இந்த எலக்ட்ரான்கள் S_4 நிலையிலிருந்து So நிலைக்கு நொதி மீண்டும் திரும்ப உதவுகின்றன. அந்த ஒட்டுமொத்த நிகழ்விற்கு உதவும் நொதியின் செயலுக்கு, மாங்கனீஸ், குளோரின், கால்சியம் ஆகிய தனிம மூலகங்கள், இணைக் காரணிகளாகச் செயல்படுகின்றன (படம்–15).

படம்–15





Ca



Mn^{++}, Cl^-

நீர் இவ்வாறு அயனியாக்கமடைந்து உருவாகும் எலக்ட்ரான்கள் வின் PS-II-ஆகிசிஜன்ஏற்றப்பட்ட P680 பச்சைய மூலக்கூறுக்கு Y_Z – என்ற 'Z' தொகுப்பின் மூலம் அனுப்பப்படுகின்றன. இந்நிறமிகள் ஒளி ஈர்த்து வெளியேற்றிய எலக்ட்ரான்கள் இதன் மூலம் ஈடுசெய்யப்படுவதுடன் மீண்டும் அடுத்த ஒளி ஈர்ப்புச் செயலுக்குத்

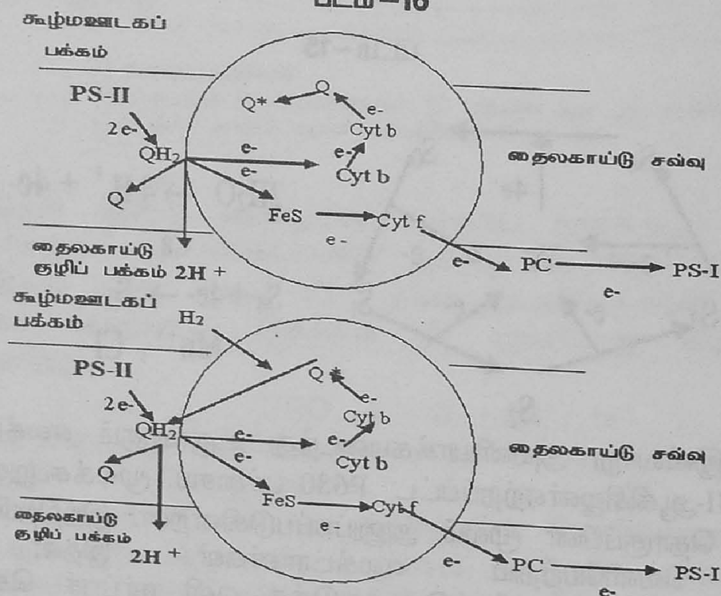
தயாராகின்றன. PS-II-வின் வினைமையத்தில் உள்ள D1 புரதத்தின் டைரோசின் அமினோ அமதின் ராடிகல் 'Z' தொகுப்பாகச் செயல் படுகிறது.

3.3.2. சைட்டோகுரோம்-b6f–தொகுப்பில் எலக்ட்ரான்மாற்றுத் தொடர் இயக்கம்

சைட்டோகுரோம்-b6f–தொகுப்பு,b-வகைசைட்டோகுரோம்கள் இரண்டு, சைட்டோகுரோம்ஸ்-f, இரும்பு–கந்தகப் புரதம், குவினோன் பெற்ற ஆக்சிகரண குறைதல் மையங்கள் இரண்டு ஆகியவற்றைப் பெற்றுள்ளன.

b6f–தொகுப்பின் கவினோன் பெற்ற இரு ஆக்சிகரணக் குறைப்பு மையங்களில் ஒன்றில், PS II-வின் செயல்பாட்டினால் தோன்றிய ஒரு QH_2 ஆக்சிஜன் ஏற்றமடைகிறது. இதனால் தோன்றிய இரு H^+ அயனிகள் தைலகாய்டின் குழிப்பகுதிக்குள் செல்கின்றன. எலக்ட்ரான்கள் இரண்டும் b6f-தொகுப்பின் எலக்ட்ரான் ஏற்பிகளுக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. ஒரு எலக்ட்ரானை இரும்பு–கந்தகச் சேர்மம் (Fe-S) ஏற்கிறது. மற்றொன்றினை முதல் வகை சைட்டோகுரோம்-b (Cyt-b) ஏற்கிறது. இங்கிருந்து எலக்ட்ரான் இரண்டாம் வகை Cyt-b–க்கு மாற்றப்பட்டு பின்னர் மீண்டும் குவினோனால் ஏற்கப்படுகிறது. இதனால் குவினோன் செமிகுவினோன் (Q^*) என்ற சேர்மமாகிறது (படம்–16).

படம்–16



இதற்கிடையில் Fe-S ஏன்ற எலக்ட்ரான் அங்கிருந்து சைட்டோகுரோம்-f-ற்கு (Cyt-f) அனுப்பப்பட்டுப் பின்னர் பிளாஸ் டோசயனின் (PC) வழியாகச் சவ்வின் ஒளிஒருங்கு I–க்கு அனுப்பிவைக்கப் படுகிறது.

b6f-தொகுப்பின் இரண்டாவது ஆக்சிஜன்ஏற்ற குறைப்பு மையத்தில் மற்றொரு QH_2–ஆக்சிஜன் ஏற்றமடைகிறது. இச்செயலினால் தோன்றி $2H^+$ தைலகாய்டு குழிக்குள் அனுப்பப் படுகின்றன. எலக்டரான்கள் இரண்டும் முதல் மையத்கில் பயணித்தது போல் பயணிக்கின்றன. ஆனால், Cyt-b-இலிருந்து அனுப்பப்படும் எலக்ட்ரான் முதல் மையத்தில் தோன்றிய செமிகுவினோனுடன் (Q^*) சேர்ந்து அதனைக் குறைக்க உதவுகிறது. குறைதலுற்ற Q^* கூழ்மஊடகத்திலிருந்து H_2–வை ஏற்று மீண்டும் QH_2 தோன்றுகிறது.

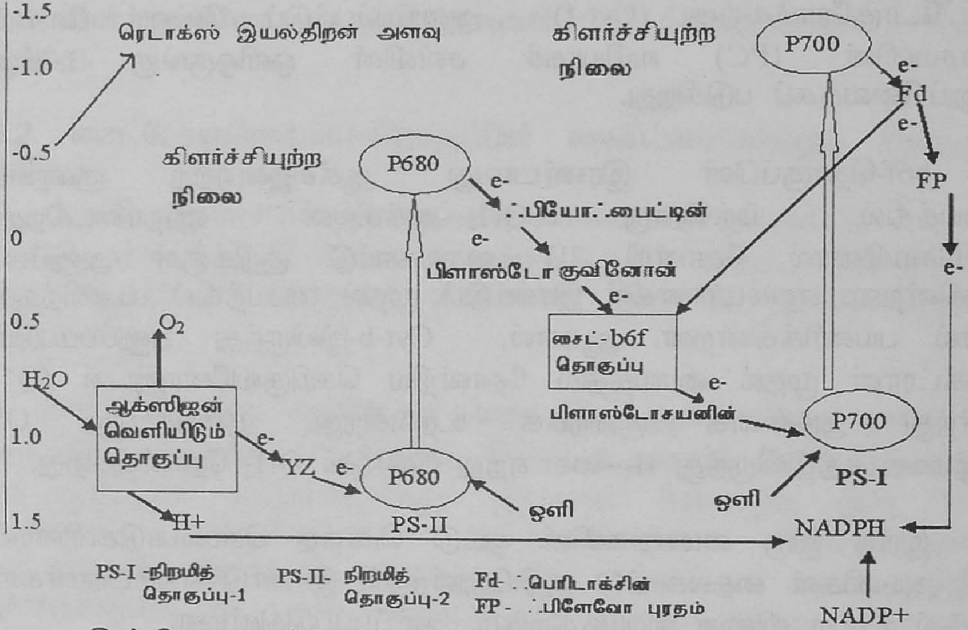
இந்த இரு மையங்களின் ஒட்டு மொத்த செயல்பாடுகளினால் $4H^+$ அயனிகள் தைலகாய்டு குழியினுள்ளும், இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் PS-I-ல் உள்ள வினை மையத்திற்கும் அனுப்பப்படுகின்றன.

சைட்டோகுரோம் b6f-தொகுப்பிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் PS-I-ற்கு மாற்றப்படுவது பிளாஸ்டோசயனின் என்ற நீரில் கரையும் தன்மை கொண்ட செம்பு பெற்ற புரதத்தின் வழியாக நடைபெறுவது குறிப்பிடத்தக்கது. இது தைலகாய்டு சவ்வின் முழுமைப் புரதமாக இல்லாமல் தைலகாய்டு குழிப்பக்கமுள்ள பரப்பில் காணப்படும் புரதமாக உள்ளது. சவ்வுப்பரப்பில் அல்லது சவ்வின் ஊடே இடம்பெயரும் தன்மையை இது பெற்றுள்ளது.

3.3.3. ஒளித்தொகுப்பு I-ல் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் இயக்கம்

ஒளித்தொகுப்பு-I-ம் ஒரு பல்புரதத் தொகுதியாக உள்ளது. இது 66 முதல் 70 கிலோ டால்டன் மூலக்கூறு எடையுடைய இரு பாலிபெப்டைடுகளைப் பெற்றுள்ளது. இவற்றுடன் 700 நானோ மீட்டர் அலைநீளமுடைய ஒளிக்கதிர்கள் வரை ஈர்க்கும் தன்மை பெற்ற P700-என்ற பச்சைய நிறமிகளும், 100 பிறபச்சைய நிறமிகளும் பிணையுற்றுள்ளன. இத்தொகுதியல் இவ்விரு பாலிபெப்டைடுகள் தவிர 4 முதல் 25 கிலோ டால்டன் எடையுள்ள சிறிய பாலிபெப்டைடுகளும் காணப்படுகின்றன. இவற்றில் சில பாலிபெப்டைகுள், பிளாஸ்டோசயனின் (PC), ஃபெரிடாக்ஸின் (Fd) ஆகிய இரு லக்ட்ரான் ஏற்பிகளை பிணைத்துக் கொள்ளும் பிணை இலக்குகளைப் பெற்றுள்ளன.

படம் – 17



இவ்விரு எலக்ட்ரான் ஏற்பிகளில் Fd நீரில் கரையும் தன்மை கொண்ட, இரும்பு–கந்தகம் பெற்ற பரதமாகும். இது PS-I-லிருந்து வெளியேறும் எலக்டரான்களை ஏற்கும் ஏற்பியாகும். இங்கிருந்து எலக்ட்ரான் ஃபெரிடாக்ஸின்-NADP-ரிடக்டேஸ் என்ற சவ்வுடன் இணைந்த மற்றொரு ஃபிளேவோபுரதத்திற்கு (FP) செலகிறது. இதனால் FP குறைதலுற்ற இறுதியல் எலக்ட்ரானை NADP-க்கு அளித்து NADPH-ஆக குறைதலடையச் செய்கிறது.

இவற்றள் நீரின் அயனியாக்க விளைவால் தோன்றிய எலக்ட்ரான்கள் PS-II-இலிருந்து சைட்டோகுரோம்-b6f- தொகுதி வழியாக PS-I-ஐ அடைந்து இறுதியில் NADP-ஐ குறைக்கப் பயன்படும் விதத்தில் பயணப்படுவது சுழற்சியிலா எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் செயல் (Non-cyclic electron transport process) என அழைக்கப்படுகிறது. இந்த முழுச் செயலையும் திட்ட வரைவின் மூலம் குறிப்பிடலாம் (படம்–17).

3.4. ஒளிஃபாஸ்ஃபரஸ் ஆக்கம் (Photophosphorylation)

(ஒளிக் கிரியையில் **ATP** உற்பத்தியை விளக்கும் வேதி ஆஸ்மாசிஸ் கோட்பாடு)

ஒளிக்கிரியையின் போது ஃபோட்டான் ஆற்றல் இரு விதங்களில் சேமிக்கப்படுகிறது. (1) NADH என்ற ரெடாக்ஸ் சமச்சேர்மம்

உற்பத்திவாயிலாக (2) ATP உற்பத்தி வாயிலாக. இவற்றுள் ATP உற்பத்தியாவதற்கு ஒளிஃபாஸ்ஃபரஸ் ஆக்கம் என்று பெயர். இதனை 1950–ஆம் ஆண்டில் முதன்முறையாக டேனியல் ஆர்னான் (Daniel Arnon) என்பவர் கண்டறிந்தார். இந்த ஒளிஃபாஸ்ஃபரஸ் ஆக்கம் வேதிஆஸ்மாசிஸ் இயக்க முறையில் (chemiosmotic mechanism) நிகழ்கிறது என்று தற்போது கண்டறியப்படுடுள்ளது. இதனை 1979-ஆம் ஆண்டு பீட்டர் மிட்ச்செல் (Peeter Mitchell) என்பவர் கண்டறிந்துள்ளார். தைலகாய்டு சவ்வில் முழுமைப் புரதமாகக் காணப்படும் ATP-சிந்தேஸ் அல்லது ATP-ase என்ற நொதி இந்தச் செயலில் முதன்மைப் பங்காற்றுகிறது.

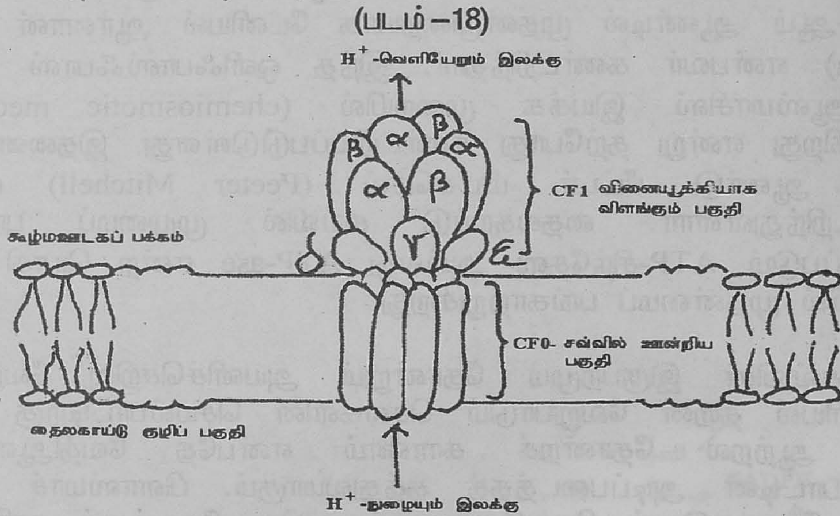
சவ்வின் இருபுறமும் தோன்றும் அயனிச்செறிவு வேறுபாடும், மின்னியல் திறன் வேறுபாடும் செல்களின் செயல்பாட்டிற்கு உதவும் தனி ஆற்றல் தோன்றக் காரணம் என்பதே வேதிஆஸ்மாசிஸ் கோட்பாட்டின் அடிப்படைத்தத் தத்துவமாகும். பிளாஸ்மாச் சவ்வில் இந்த வேறுபாடுகள் நிலவுமேயானால் அங்கு தோன்றும் தனியாற்றல் அயனிகளைக் கடத்த உதவுகிறது. இதுவே மைட்டோகாண்ட்ரியங்களின் உட்சவ்வுநீட்சி (cristae) பகுதிகளில் ஆக்சிஜன்ஏற்ற ஃபாஸ்ஃபரஸ் ஆக்கம் மூலம் ATP-கள் தோன்ற உதவுகிறது. ஆனால் தைலகாய்டு சவ்வில் ஒளிஃபாஸ்ஃபேட்சேர்க்கை மூலம் ATP-கள் தோன்ற உதவுகின்றன.

தைலகாய்டு சவ்வில் நிகழும் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் செயலின்போது ஒரு பக்கத்திலிருந்து (கூழ்ம ஊடகப் பக்கத்திலிருந்து) மற்றொரு பக்கத்திற்கு (தைலகாய்டின் குழிப்புகுதிக்கு) புரோட்டான்களின் (H^+) ஓட்டமும் சேர்ந்தே நிகழ்கிறது. இதனால் கூழ்ம ஊடகப் பக்கத்தில் pH உயர்ந்து கார நிலையும், தைலகாய்டின் குழிப்புகுதியில் pH குறைந்து அமில நிலையும் தோன்றுகின்றன. சவ்வின் குறுக்கே இவ்வாறு ஏற்படும் புரேட்டான் செறிவு வேறுபாடு, புரோட்டான் இயங்கு விசை (protomotive force) என்ற ஒரு விசை தோன்றக் காரணமாகிறது.

ATP-சிந்தேஸ் பரதம் இரு பகுதிகளைப் பெற்றுள்ளது சவ்வில் மூழ்கியுள்ள, நீர் வெறுக்கம் பகுதி ஒன்று (CFO). கூழ்மஊடகத்தில் வெளிப்படும் விதத்தில் நீண்ட நீர் விரும்பும் பகுதி மற்றொன்று (CF1). இவற்றுள் CFO-பகுதி சவ்வின் குறுக்கே கால்வாய்போல் காணப்படுகிறது. இதன் வழியாக புரோட்டான்கள் கடந்து செல்ல முடியும். CF1-பகுதி ATP உற்பத்திக்கு உதவும் பகுதியாகும். இது ஆல்ஃபா, பீட்டா பாலிபெப்டைடுகள் அகிய ஒவ்வொன்றையும் மூன்று படிகளில் ஒன்றையடுத்து ஒன்றாகப் பெற்ற பகுதியாகும். இவற்றுள்

பீட்டா பாலிபெப்டைடுகள் ATP-உற்பத்திக்கு உதவும் வினையூக்கிப் பகுதியை அமைக்கின்றன (படம் –18).

(படம் –18)



ATP- சிந்தேஸ் நொதிப் புரதத்தின் மூலக்கூறு அமைப்பு

ஆல்ஃபா, பீட்டா பாலிபெப்டைடுகள் ஆகிய இரண்டும் மாறிமாறிச் சுழலும் தன்மை பெற்றுள்ளன. மையத்தில் அமைந்துள்ள சுழற்றும் அச்சு இதற்கு உதவுகிறது. CFO-பகுதியுடன் ஊன்றியுள்ள மற்றொரு பாலிபெப்டைடு துணை-அலகு சுழற்றும் அச்சாகச் செயல்படுகிறது. ATP-ase நொதி வழியாக புரோட்டான் ஓட்டம் நிழும்போது, அதில் உண்டாகும் இந்த ஒத்திசைவு இயக்கத்தால் (பாலிபெப்டைடுகள் சுழலுதல்) உருவாகும் தனி ஆற்றல் ADP-யுடன் (அடினோசைன் டைஃபாஸ்ஃபேட்டுடன்) தனிம ஃபாஸ்ஃபேட் (pi) ஒன்றினை இணைத்து ATP-தோன்ற உதவுகிறது. இச்செயலுக்கு ஒளிஃபாஸ்ஃபரஸ் ஆக்கம் என்று பெயர்.

நீரிலிருந்து இறுதி எலகட்ரான் ஏற்பியாகிய $NADP^{+}$-க்கு ஒளிஒருங்கு-II, I ஆகியவற்றின் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் தொடர் ஒட்டம் அடையும்போது தோன்றும் புரோட்டான் இயக்கவிசையினைப் பயன்படுத்தி ATP-கள் உருவாவதற்கு சுழற்சியிலா ஃபாஸ்ஃபரஸ் ஆக்கம் (noncyclic phosphorylation) என்று பெயர். சில சமயம், ஒளிஒருங்கு-I-லிருந்து (PS-I) வெளியேற்றப்பட்ட எலக்ட்ரான்களைப் ஃபிளேவோபுரதம் (FP) ஏற்றுக்கொள்ளாமல் சைட்டோகுரோம்-b6f-தொகுப்பின் வழியாக மீண்டும் ஒளிஒருங்கு-I-ற்கே பயணப்படும்போது உருவாகும் புரோட்டான் இயக்கு விசையினைப் பயன்படுத்தி ATP-கள் உருவாகின்றன. இதற்கு சுழற்சிப்ஃபாஸ்ஃபரஸ்ஆக்கம் (cyclic

phosphorylation) என்று பெயர். இச்செயலுக்குக் கீழ்க்கண்ட இரு நிலைகள் உதவுகின்றன.

(1) NADPH-என்ற ரெடாக்ஸ் சமச்சேர்மத்தின் உற்பத்திக்கு உதவும் என்ற இணைநொதியின் பற்றாக்குறை நிலை

(2) ATP-மூலக்கூறுகளின் தேவை அதிகரித்தல்.

ஒளிவினையில் நிகழும் எலக்ட்ரான் மாற்றுத்தொடர் மூலம் உருவாக்கப்படும் NADPH என்ற ரெடாக்ஸ் சமச்சேர்மமும். ATP-களும் இருள்வினையின் கார்பன்-ஆக்சிஜன் ஏற்றத்திற்குத் தேவையான ஹைட்ரஜனையும், ஆற்றலகளையம் முறையே தந்து உதவுகின்றன.

3.5. ஒளிச்சேர்க்கையில் C-4 கார்பன் சுழற்சி (C-4 Carbon cycle in Photosynthesis)

காலவின் செய்த சோதனைகளைப்போல் கதிரியக்க ஓரகக் கார்பன் (isotope carbon) பெற்ற CO_2-வைக் ($^{14}CO_2$) கொண்டு கரும்புத்தாவரத்திலும் சோளத் தாவரத்திலும் முறையே ஹெச்.பி. கோர்ட்சாக் (H.P. Kortschack) என்பவரும், ஒய். கார்பிலோ (Y.Karpilo) என்பவரும், ஒளிச்சேர்க்கையின் இருள் வினையில், கார்பன் வழிப் பாதையை ஆய்வு செய்த போது, வழக்கத்திற்கு மாறாக சில C-4 அமிலங்களில் கதிரியக்க ஓரகக் கார்பன்கள் காணப்படுவதைக் கண்டறிந்தனர். அதாவது கால்வின் கண்டறிந்ததுபோல் C-3 அமிலமாகிய ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரிக் அமிலங்களில் மட்டும் ஓரகக் கார்பன்கள் இல்லாமல், அஸ்பர்டிக் அமிலம், மேலிக் அமிலம் போன்ற C-4 அமிலங்களிலும் இருப்பதை இவர்கள் கண்டறிந்தனர். எனவே இருள்வினையில் கார்பன் நிலப்படுத்தப்படும் போது கரும்பு, சோளத் தாவரங்களில் முதலில் தோன்றும் சேர்மம் நான்கு கார்பன்களைப்பெற்ற கரிம அமிலங்கள் என்பதை இவர்கள் கண்டறிந்தனர். இத்தாவரங்களில் கால்வின் சுழற்சியைத் தவிர வேறு ஒரு சுழற்சி நிகழ்கிறது என்பதை இவர்களது இக்கண்டுபிடிப்பு உணர்த்தியது.

இந்தச் சுழற்சியின் அனைத்து நிலைகளிலும் தோன்றும் சேர்மங்களை முழுமையாகக் கண்டறிந்தவர்கள் ஹாட்ச், ஸ்லாக் (Hatch & Slack) என்ற ஆஸ்திரேலிய நாட்டு தாவர வாழ்வியல் வல்லுநர்களாவர். இச்சுழற்சிக்கு இவர்கள் C-4 சுழற்சி எனப் பெயரிட்டிருந்தாலும், ஹாட்ச், ஸ்லாக் வினைவழிப்பாதை என்றே தற்போது இது அழைக்கப்படுகிறது. சில வெப்பமண்டில புல் இனங்களில் செய்த சோதனைகளைக் கொண்டு இதனை இவர்கள் கண்டறிந்தனர். வகைப்பாட்டியல் முறையில் உறவு பெற்றிறாத

கோதுமை, ஓட்ஸ், நெல், மூங்கில் போன்ற புல் இனங்களில் CO_2 நிலைப்புடுத்துவதன் மூலம் மூன்று கார்பன்களைப் பெற்ற ஃபாஸஃபோகிளசரால்டிஹைடு (3-PGA) மட்டுமே மதன்மை கார்பன் சேர்மமாக உருவாகின்றன என்பதும், இவை கால்வின் சுழற்சியை மட்டுமே செய்கின்றன என்பதும் மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே, CO_2 நிலைப்புடத்தப்படுவதின் விளைபொருட்களாக மூன்று கார்பன்களைப்பெற்ற 3-PGA-களை உருவாக்கும் தாவரங்கள் C-3 தாவரங்கள் என்றும், நான்கு கார்பன்களைப் பெற்ற அமிலங்களை உருவாக்கும் தாவரங்கள் C-4 தாவரங்கள் எனவும் வாழ்வியல் செயல் பாகுபாட்டின் அடிப்படையில் பெயரிடப்பட்டுள்ளன. பெரும்பாலும் ஒருவித்திலைத் தாவரங்களான புல், கோரை தாவரங்கள் C-4 தாவரங்களாக உள்ளன. புல் இனத்தாவரங்களில் கரும்பு, மக்காச்சோளம், முத்துச்சோளம் (*Sorghum*) போன்றவை வேளாண் தாவரங்கள் என்புதும் குறிப்பிடத்தக்கது.

இருவித்திலைத் தாவரங்களில் ஏறக்குறைய 300 தாவரங்கள் C-4 தாவரங்களாக உள்ளன என்பதும் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. குறைந்தது 19 குடும்பங்களைச் சேர்ந்த ஆயிரத்திற்கும் மேற்பட்ட ஆஞ்ஜியோஸ்பெர்ம் தாவரங்கள், C-4 தாவரங்களாக உள்ளன என இனங்காணப்பட்டுள்ளன. இவற்றில் அதிக எண்ணிக்கையை அமைப்பது கிராமினே (Gramineae), கீனபோடியேசி (Chenopodiaceae), சைபிரேசி (Cyperaceae) குடும்பத்தாவரங்களே ஆகும்.

3.5.1. C-4 தாவரங்களின் தனிச்சிறப்புகள்

C-4 தாவரங்கள் சில வாழிவியல் பண்புகளில் C-3 தாவரங்களிலிருந்து வேறுபட்டிருப்பதோடு, இலைகளின் உள்ளமைப்புப் பண்புகள் சிலவற்றில் வேறுபட்டுள்ளன. இவை பின் வருமாறு:

(1) இலைகளில் வாஸ்குலக் கற்றைகளைச் சுற்றித் தெளிவான வளையத்தில் அமைந்த பாரங்கைமா செல்களால் ஆன கற்றை உறை ஒன்று காணப்படுகிறது இவற்றின் தனிச்சிறப்பாகும். இந்த வளையம் வட்டமான மலர் வளையத்தைப்போல் புலப்படுவதால், இப்பொருள் உணர்த்தும் கிரான்ஸ் (Kranz) என்ற ஜெர்மன் சொல் இவற்றின் உள்மைப்பிற்குத் தரப்பட்டுள்ளது. கிரான்ஸ் இலை உள்ளமைப்புப் பண்பு அனைத்து C-4 தாவரங்களிலும் காணப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கது.

(2) இவற்றின இலைகளில் இலையிடைத்திசு பசுங்கணிகங்கள், கற்றை உறைசெல் பசுங்கணிகங்கள் என இரு வகையான பசுங்கணிகங்கள் காணப்படுகின்றன.

(3) கற்றை உறை செல்கள் தடித்த செல்சுவர்களையும், அதிக எண்ணிக்கையில் பசுங்கணிகங்களையும், மைட்டோகாண்டரியன் களையும், பிற செல் நுண்உள்ளுறுப்புகளையும் பெற்றிருப்பதுடன் மிகச்சிறிய மைய நுண்குமிழ்பையையும் பெற்றுள்ளன.

(4) இத்தாவரங்களின் கற்றை உறை பசுங்கணிகங்கள் அளவில் மிகப்பெரியவை; குறைவான கிராணங்களையும் அதிக அளவில் தரச மணிகளையும் பெற்றுள்ளன. மாறாக இலையிடைத்திசு பசுங்கணிகங்கள் அளவில் சிறியவை; அதிக எண்ணிக்கையில் கிராணங்களைப் பெற்றிருப்பதுடன் தரசம் பெற்றிருப்பதில்லை.

3.5.2. ஹாட்ச், ஸ்லாக் வினைவழிப்பாதையின் இறக்கமுறை

இலையிடைத்திசு செல்களையும் கற்றை உறை செல்களையும் இணைத்து நிகழக்கூடிய ஹாட்ச், ஸ்லாக் வினைவழிப்பாதையில் கீழ்க்கண்ட நான்கு முக்கிய நிலைகள் உள்ளன.

(1) இலையிடைத் திசு செல்களில் ஃபாஸ்ஃபோஇனால் பைரூவிக் அமிலம் (PEP) கார்பன் ஏற்றமடைந்து C-4 அமிலம் தோன்றுதல்.

(2) C-4 அமிலம் இலையிடத் திசு செல்களிலிருந்து கற்றை உறை செல்குளுக்குக் கடத்தப்படுதல்.

(3) கற்றை உறை செல்களில் C-4 அமிலம் ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கவினை அடைந்து C-3 அமிலமாக மாறுதல். இதனால் வெளியேற்றப்படும் CO_2 ரிபுலோஸ் பிஸ்ஃபாஸ்ஃபேட்டினால் (RuBP) நிலைப்படுத்தப்பட்டு கால்வின் சுழற்சி நிகழ்தல்.

(4) கற்றை உறை செல்களில் உருவான C-3 அமிலம் இலையிடைத் திசு செல்களுக்கு மாற்றப்பட்டு திரும்பவும் PEP உயிர்பிக்கப் படுதல்.

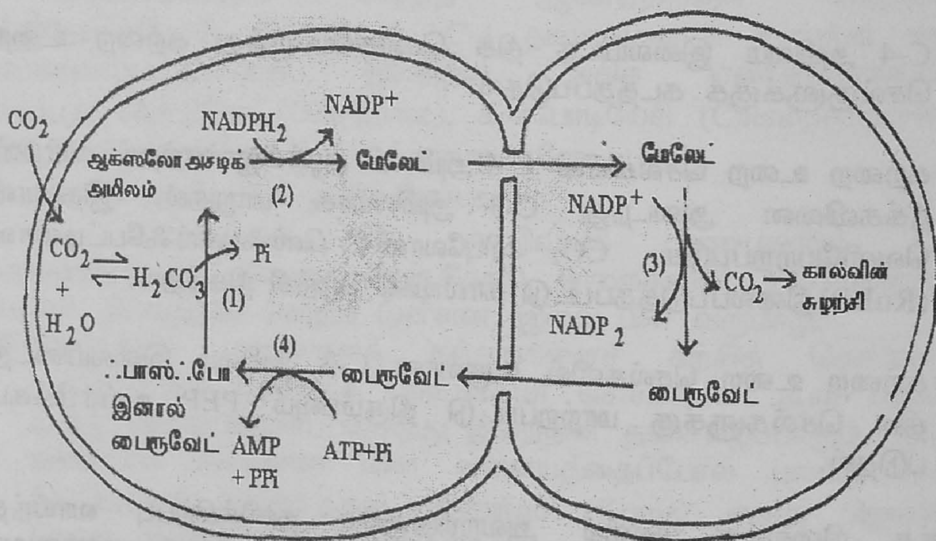
இந்த நிலைகள் யாவும் அவற்றிற்குரிய தனிச்சிறப்பு வாய்ந்த நொதிகளால் நிகழ்த்தப்படுவதும் குறிப்பிடத்தக்கது. அண்மைக் காலத்தில் C-4 கார்பன் சுழற்சி மூன்று வேறுபட்ட வகைககளில் நிகழ்வதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. கற்றை உறை செல்களில் மூலக்கூறு CO_2 கிடைத்திட உதவிசெய்யும் முதன்மை நொதிகளைக் கொண்டு இந்த வகைகள் பெயரிடப்பட்டுள்ளன.

(அ) NADP-மேலிக் நொதி வகை

ஹாட்ச், ஸ்லாக் மதலில் கண்டறிந்த C-4 சுழற்சி இவ்வகையாகும். இலையிடைத்திசு செல்களில் PEP, வளிமண்டல CO_2-வை நிலைப்படுத்தி முதலில் உருவாகும் கரம அமிலமான ஆக்சலோ அசிட்டிக் அமிலம் (OAA), $NADPH_2$-வால் ஹைட்ரஜன் ஏற்றமடைந்து மேலிக் அமிலமாகிறது. இது பின்னர் கற்றை உறை செல்களை அடைகிறது. அங்கு NADP-மேலிக் நொதியின் உதவியால் ஆக்சிஜனேற்றக் கார்பன் நீக்க வினை அடைந்து பைரூவேட் என்ற கார்பாக்சிலிக் அமிலம் உருவாகிறது. பின்னர் இந்த பைரூவேட் இலையிடைத்திசு செல்களை அடைந்து அங்கு PEP-யாக உயிர்ப்பிக்கப்பட்டு அடுத்த கார்பன் சுழற்சியைத் தொடங்குகிறது (படம்-19). இந்த வகை C-4 சுழற்சி கரும்பு, மக்காச்சோளம், முத்துச்சேளம் ஆகியவற்றில் நிகழ்வதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

படம்-19

NADP – மேலிக் நொதி வகை



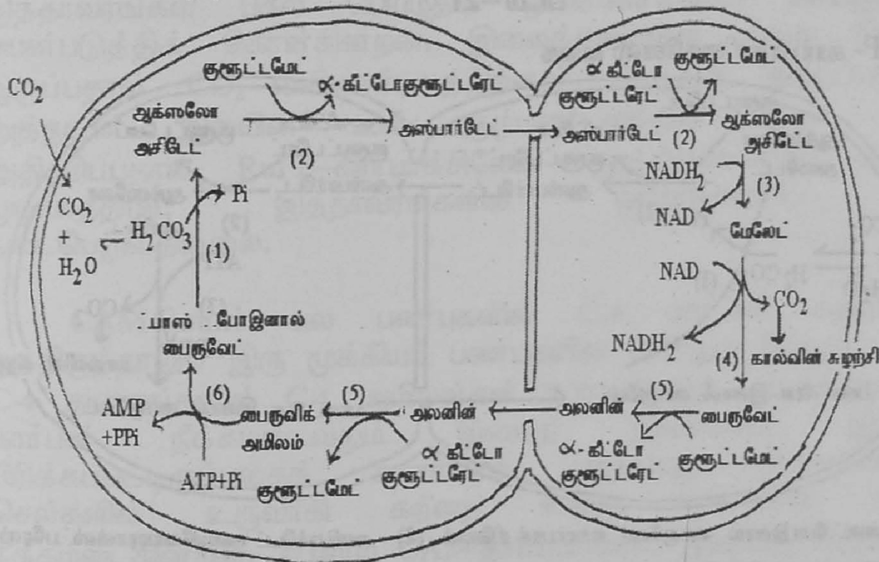
(1) PEP- கார்பாக்ஸிலேஸ் (2) மேலேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் (3) NADP- மேலிக் நொதி (4) பைருவேட் ஆர்த்தோ .·பாஸ்.·பேட் டைகைனேஸ்

(ஆ) NAD-மேலிக் நொதி வகை

இந்த வகை சுழற்சியில் இலையிடைத்திசு செல்களிலிருந்து கற்றை உறை செல்களுக்குக் கடத்தப்படும் C-4அமிலம் அஸ்பார்டேட் என்ற அமினோ அமிலமாக உள்ளது. இது இலையிடைத் திசு செல்களில் உருவான OAA குளூட்டமேட்டின் உதவியால்

அமோனியமாற்றுச்சேர்க்கை (transamination) மூலம் உருவாகிறது. கற்றை உறை செல்களை அடைந்த அஸ்பார்டேட்டிலிருந்து அமினோதொகுப்பு நீக்கப்படுவதால் மீண்டும் OAA தோன்றுகிறது. இது பின்னர் $NADH_2$-வால் ஹைட்ரஜன்ஏற்றமடைந்து மேலேட் உருவாகிறது. இந்த மேலேட் NAD-மேலிக் நொதியினால் ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கமடைந்து பைரூவேட் உருவாகிறது. இது நேரடியாக இலையிடைத்திசு செல்களுக்குக் கடத்தப்படாமல் அமோனியச்சேர்க்கை மூலம் ஆலனைன் என்ற அமினோ அமிலமாக மாறி பின்னர் செல்கிறது. இலையிடைத்திசு செல்களை அடைந்த ஆலனைன் மீண்டும் பைரூவேட்டாக மாறி பின்னர் PEP உயிர்ப்பிக்கப்படுகிறது. இந்த வகை சுழற்சி C-4 சிறுதானியத் தாவரங்கள் சிலவற்றில் கண்டறியப்பட்டுள்ளது (படம்–20).

படம்–20



(1) பாஸ் போ இனால் பைருவேட் கார்பாக்சிலேஸ் (2) அஸ்பர்டேட் அமைனோ டிரான்ஸ் பரேஸ் (3) மேலேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் (4) NAD-மேலிக் நொதி
(5) ஆலனின் அமைனோ டிரான்ஸ் பரேஸ் (6) பைருவேட் ஆர்த்தோ பாஸ் பேட் டைகைனேஸ்

(இ) கார்பாக்சிகைனேஸ் வகை

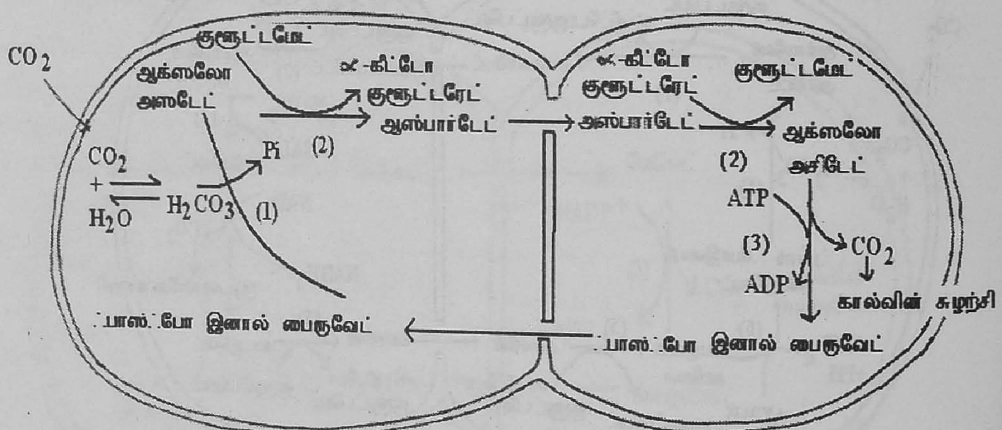
இது ஏறத்தாழ இரண்டாவது வகையினை ஒத்த C-4 சுழற்சியாக உள்ளது. ஆனால் கற்றை உறை செல்களில் OAA பைரூவேட்டாக மாறாமல், PEP-கார்பாக்சிலேஸ் நொதியின் உதவியால் நேரடியாகத் தோன்றிப் பின்னர் அது இலையிடைத் திசு செல்களுக்குக்

கடத்தப்படுகிறது. இந்த வகை C-4 சழற்சி கினி புல் தாவரத்தில் கண்டறியப்பட்டுள்ளது (படம்–21).

கற்றை உறை செல்களில் C-4 அமிலங்கள் கார்பன் நீக்க வினை அடைவதால் உண்டான CO_2 அவற்றின் பசுங்கணிகங்களை அடைந்து ரிபுலோஸ் பிஸ்ஃபாஸ்ஃபேட்டினால் நிலப்படுத்தப்பட்டு கால்வின் சுழற்சி நிகழ்கிறது. கற்றை உறை செல்களில் CO_2 செறிவு எப்போதும் உயர்வாகவே இருப்பதால் கால்வின் சழற்சியின் முதல் நொதியாகிய ரிபுலோஸ் பிஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் கார்பாக்சிலேஸ் நொதி (RUBISCO carboxylase), RUBISCO-ஆக்ஸிஜனேஸ் நொதியாக மாறிடமுடிவதில்லை. எனவே, ஒளிச்சுவாசச் செயல் (Photorespiration) இத்தாவரங்களில் தவிர்க்கப்படுகிறது. எனவே, C-4 சழற்சியில், கற்றை உறை பசுங்கணிகங்களில் கால்வின் சுழற்சியைத் திறம்பட்ட முறையில் நிகழ்த்துவதற்காக, வளிமண்டல CO_2, ரிபுலோஸ் பிஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் கார்பாக்சிலேஸ் நொதியை நோக்கி செறிவடைகிறது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

படம்–21

PEP- கார்பாக்சிகைனேஸ் வகை



(1) ஃபாஸ்ஃபோ இனால் பைருவேட் டிகார்பாக்சிலேஸ் (2) அஸ்பார்டேட் அமைனோடிரான்ஸ்ஃபரேஸ் (3) PEP- கார்பாக்சிகைனேஸ்

3.6 கிராசுலேசி தாவர அமில வளர்சிதைமாற்றம் (Crassulacean Acid Metabolism – CAM)

C-4 கார்பன் சுழற்சியில் நிகழ்வதுபோல் இச்செயலிலும் வளிமண்டல CO_2 ரிபுலோஸ்பிஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் கார்பாக்சிலேஸ் நொதியை நோக்கி செறிவடைகிறது. எனவே, CAM தாவரங்களிலும் வளிமண்டல CO_2, ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவேட்டினால் (PEP) நிலைப்படுத்தப்படுகிறது. இதனால் உருவாகும் ஆக்சலோஅசிட்டிக்

அமிலம் (OAA), குறைப்பானாகிய $NADPH_2$-வின் உதவியால் ஹைட்ரஜன் ஏற்றமடைந்து மேலேட் உருவாகிறது. செல் சைட்டோபிளாசத்தில் நிகழும் இந்நிகழ்ச்சிகள் அனைத்தும் இத்தாவரங்களில் இரவுப்பொழுதில் மட்டுமே நிகழ்கிறது. இவற்றின் இலைத்துளைகள் இரவுப்பொழுதில் மட்டுமே திறவுற்றிருந்து CO_2 எடுத்துக்கொள்ளப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். இந்த வகை CO2 நிலைப்படுத்துப்புடுவதினால் உருவாகும் மேலேட்டகள் நுண்குமிழ்பைகளில் மேலிக் அமிலமாக சேமிக்கப்படுகிறது.

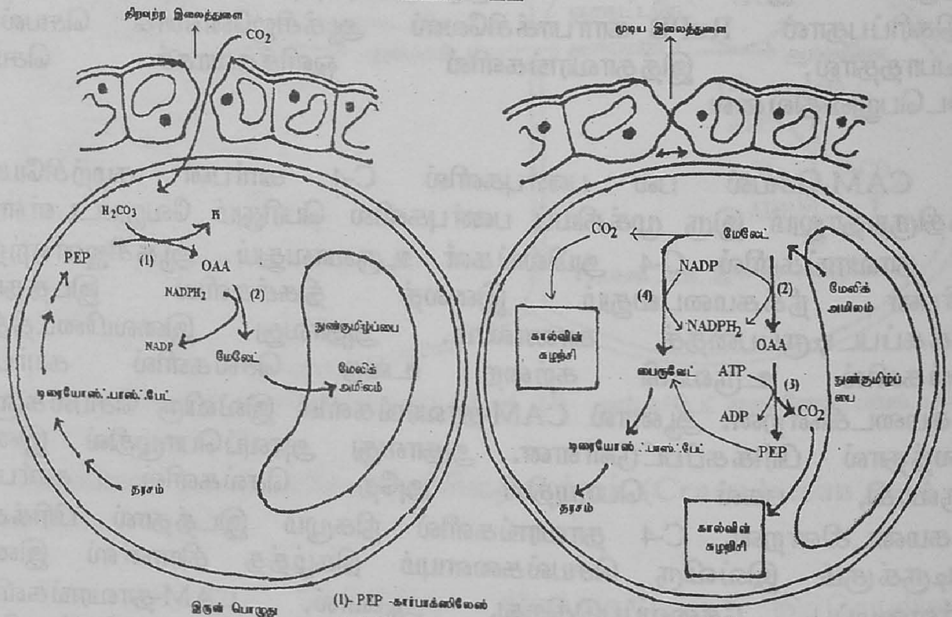
பகல்பொழுதில் நீராவிப்போக்கினால் ஏற்படும் நீர் இழப்பைத் தவிர்பதற்காக இவற்றின் இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்கின்றன. எனவே, ஒளிச்சேர்க்கைக்குத் தேவையான CO_2 உட்செல்வது தடைப்படுகிறது. இந்நிலயில் நுண்குமிழ்ப்பைகளில் சேமிக்கப்பட்டிருக்கும் மேலிக் அமிலங்கள் வெளியே வந்து, NADP-மேலிக் நொதியின் உதவியால் கார்பன் நீக்க வினை அடைவதன் மூலம் CO_2 வெளிவிடப்படுகிறது. இந்த CO_2 மூலக்கூறுகளை இத்தாவரங்கள் பகல் பொழுதில் ஒளிச்சேர்க்கைச் செயலுக்காகப் பயன்படுத்திக் கொள்கின்றன. இலைத்துளைகள் மூடிய நிலையில் இருப்பதால் CO_2 வளிமண்டலத்திற்குள் செல்வது தடைப்படுகிறது. அத்துடன் இமையின் உள் சூழ்மண்டலத்தில் CO_2 செறிவு அதிகரிப்பதால் RuPB–கார்பாக்சிலேஸ் ஆக்சிஜனேஸாக செயல்பட முடியாததால், இத்தாவரங்களில் ஒளிச்சுவாசச் செயல் நடைபெறுவதில்லை.

CAM-செயல் பல பண்புகளில் C-4 கார்பன் சுழற்சியோடு ஒத்திருந்தாலும் இரு முக்கியப் பண்புகளில் பெரிதும் வேறுபட்டள்ளது. C-4 தாவரங்களில் C-4 அமிலங்கள் உருவாவதும், ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கமடைவதும் இலைத் திசுக்களில் இடத்தால் பிரிக்கப்பட்டிருப்பதைக் காணலாம். அதாவது இலையிடைத்திசு செல்களில் உருவாகி கற்றை உறை செல்களில் கார்பன் நீக்கமடைகின்றன. ஆனால் CAM-தாவரங்களில் இவ்விரு செயல்களும் காலத்தால் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன. அதாவது அரவுப்பொழுதில் இவை உருவாகி, பகல் பொழுதில் அதே செல்களில் கார்பன் நீக்கமடைகின்றன. C-4 தாவரங்களில் நிகழும் இடத்தால் பிரிக்கப் பட்டிருக்கும் இவ்விரு செயல்களையும் நிகழ்த்த கிரான்ஸ் இலை உள்ளமைப்பு தேவைப்படுகிறது. ஆனால், CAM-தாவரங்களில் இவ்வுள்ளமைப்புக் காணப்படுவதில்லை. எனவே, இலை செல்களின் சைட்டோபிளாசத்தில், இரவுப்பொழுதில் தோன்றி அதே செல்களின் நுண்குமிழ்ப்பைகளில் சேமிக்கப்படுகின்றன. பின்னர் பகல் பொழுதில்

அதே செல்களின் பசுங்கணிகங்களுக்கு இந்த மேலேட்டுகள் கடத்தப்பட்டு அங்கு கார்பன் நீக்கமடைந்து CO_2 வெளியேற்றப் படுகிறது. இந்த CO_2 பகல்பொழுதில் RuDP-யால் நிலைப்படுத்தப்பட்டு கால்வின் சுழற்சி நிகழ்கிறது.

இந்த CO_2 நீக்கவினை இருவிதங்களில் நிகழ்வதாக தற்போது கண்டறியப்பட்டுள்ளது: (1) மேலேட் நேரடியாக NADP-மேலிக் நொதி உதவியால் ஆக்சிஜன்ஏற்ற கார்பன் நீக்க வினை அடைந்து CO_2 வெளியேறுதல் ஒருவிதம். இச்செயலின்போது பைரூவிக் அமிலம் நேரடியாக உருவாகிறது. (2) மேலேட் முதலில் மேலிக் டிஹைட் ரோஜினேஸ் நொதியின் உதவியால் ஆக்சிஜன்ஏற்றமடைந்து OAA தோன்றுகிறது. பின்னர் இது PEP-கார்பாக்சிகினேஸ் நொதியின் உதவியால் PEP-யாக மாற்றப்படுதல் இரண்டாவது வகை. இவ்வாறு தோன்றும் PEP-யும் பைரூவேட்டாக மாறி இறுதியில் அனைத்து பைரூவேட்டுகளிலிருந்தும், சர்க்கரை, தரச உற்பத்திக்குத் தேவையான டிரையோஸ்ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் உருவாகின்றன. இதைத் தவிர கால்வின் சுழற்சியின் மூலம் உருவாகும் டிரையோஸ்ஃபாஸ்ஃ பேட்டுகளைக் கொண்டும் சர்கரை, தரசம் ஆகிய இரண்டும் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன (படம்-22).

படம் –22



இந்தவிதமான அமில வளர்சிதைமாற்றம் முதன்முறையாக கிராசுலேசி குடும்பத்தாவரங்களான *கிராசுலா* (*Crassula*), *கலாங்கோ* (*Kalancho*), *சீடம்* (*Sedum*) போன்ற தாவரங்களில் கண்டறியப் பட்டுள்ளது. எனவேதான் இதற்கு கிராசுலேசி தாவர வளர்சிதைமாற்றம் எனப்பெயரிடப்பட்டது. ஆனால், ஆஞ்ஜியோஸ்பெர்ம் குடும்பங்கள் பலவற்றில் இது நிகழ்வது தற்போது தெரியவந்துள்ளது. கிராசுலேசி குடும்பத்தைச் சேராத கள்ளித் தாவரங்கள், *யூஃபோர்பியா* சிற்றினங்கள், வானில்லா, *அகேவ்* போன்ற தாவரங்களும் CAM தாவரங்களே.

CAM–செயலைச் செய்யும் அனைத்துத் தாவரங்களும் வறள்நிலப் பண்புகளில் ஒன்றான நீரைத்தக்க வைத்துக் கொள்ளும் சதைப்பற்றுத் தன்மையினைக் கொண்டிருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இந்த வளர்சிதைமாற்றச் செயல் இப்பண்பிற்கு உதவுவதே இதற்குக் காரணமாகும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு CAM-தாவரம் ஒரு கிராம் CO_2-வை நிலைப்படுத்த 50 முதல் 100 கிராம் நீரை மட்டுமே பயன் படுத்துகிறது. ஆனால், இதுவே CAM செயலைச் செய்யாத C-4, C-3 தாவரங்களில் முறையே 250 முதல் 500 கிராம் என இருப்பது தெரிய வந்துள்ளது. எனவே, நீரைச் சிக்கனமாகப் பயன்படுத்திச் சேமித்து வைத்துக் கொள்ள இந்தச் செயல் CAM-தாவரங்களுக்குப் பெரிதும் உதவுகிறது.

3.7. ஒளிச்சுவாசம் (Photorespiration)

பாசித் தாவரங்களில் ஒளிச்சேர்க்கைச் செயல் அதிக ஆக்சிஜன் செறிவில் ஒடுக்கப்படுகிறது என்பதை ஜெர்மன் நாட்டு உயிர்வேதியல் அறிஞர் ஒட்டோ வார்பர்க் (Otto Warburg) என்பவர் 1920ல் கண்டறிந்தார். இந்தச் செயல் அனைத்து C-3-தாவரங்களிலும் நிகழ்வதாகப் பின்னர் உறுதிப்படுத்தப்பட்டது. இதற்கு வார்பர்க் விளைவு (Warburg effect) என்று பெயரிடப்பட்டது. ஆனால் C-4-தாவரங்களிலும் CAM-தாவரங்களிலும் இந்த விளைவு காணப்படுவ தில்லை அல்லது C-4-தாவரங்களில் மிகக்குறைந்த அளவில் காணப் படுகிறது.

C-3 தாவரங்களில் இரவுப்பொழுதில் சுவாசத்தின் மூலம் வெளிவிடும் CO_2 அளவை விடப் பகல் பொழுதில் அதிக CO_2-வை வெளியிடுகின்றன. ஒளி உள்ள நிலையிலும், உயர்வெப்பநிலையிலும் இயல்பான சுவசத்துடன் ஒளிச்சுவாசம் என்ற செயலும் சேர்ந்து நிகழ்வதே இதற்குக் காரணமாகும்.

வார்பர்க் விளைவிற்கும் ஒளிச்சுவாசத்திற்கும் உறவிருப்பது பின்னர் தெரியவந்தது. இந்த இரு விளைவுகளும் நிகழக் கீழ்க் கண்டவை காரணமாக உள்ளன:

1. மிகக்குறைவான CO_2-ஈட்டுப்புள்ளியைப் (CO_2 compensation point) பெற்றிருத்தல் (ஒரு குறிப்பிட்ட ஒளிச்செறிவில் ஒளிச்சேர்க்கையின் போது எடுத்துக்கொள்ளப்படும் CO_2-வின் அளவும், செல்சுவாசத்தால் வெளிவிடப்படும் CO_2-அளவும் சமமாக உள்ளது. அதாவது ஒன்றை ஒன்று ஈடுசெய்து கொள்கின்றன. இந்த ஒளிச்செறிவு அடையும் வரை தாவரத்தால் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் CO_2, CO_2-ஈட்டப்புள்ளி எனப்படுகிறது);
2. அதிக ஒளிச்செறிவிலும், வெப்பநிலையிலும் வளரும் நிலை;
3. இலையின் உள் சூழ்மண்டலத்தில் குறைவான CO_2 அதிகமான O_2 செறிவுகள் தோன்றுதல்.

பொதுவாக, மிகையான ஒளிச்செறிவிலும் வெப்பநிலையிலும் வளரும் C-3 தாவரங்கள் அனைத்தும் மிக விரைவிலேயே CO_2 ஈட்டுப்புள்ளியை அடைந்து விடுகின்றன. எனவே, வளிமண்டலத்திலிருந்து மிகக் குறைவான அளவே CO_2-வை எடுத்துக்கொள்கின்றன. அத்துடன் இயல்பான வெப்பநிலையில் காற்றின CO_2-செறிவும் இலை உள் சூழ்மண்டலத்தின் CO_2-செறிவும் சம அளவில் இருக்கும். ஆனால் மியைான வெப்பநிலையின் போது இலை உள் சூழ்மண்டலத்தில் CO_2 செறிவு குறைகிறது. இதனால் CO_2/O_2-விகிதம் குறைகிறது. இந்த இரு நிலைகளும் ஏற்படும்போது, ஒளிச்சேர்க்கையில் CO_2-நிலைப்படுத்தும் முதன்மை நொதியாகிய ரிபுலோஸ் பிஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் கார்பாக்சிலேஸ் (RUBISCO), CO_2-வை நிலைப்படுத்தாமல் ரிபுலோஸ் பிஸ்ஃபாஸ்ஃபேட்டை அக்சிஜன் ஏற்றமடையச் செய்கிறது. அதாவது, (RUBISCO), கார்பாக்சிலேஸாக செயல்படாமல் ஆக்சிஜனேசாக செயல்படுகிறது. இதனை டபிள்யூ. எல. ஆக்ரென் (W.L. Ogren) என்பவரும் அவரது சகாக்களும் கண்டறிந்தனர்.

இந்தச் செயல்மாற்றத்தின் காரணமாகக் கால்வின் சுழற்சி நிகழ்வதற்குப் பதிலாக ஒளிச்சுவாசச்செயல் என்ற கார்பன் ஆக்சிஜனஎற்றச் சுழற்சி நிகழ்கிறது என்பதையும் இவர்கள் கண்டறிந்தனர். பின்னர் என்.இ. டோல்பெர்ட் (N. E. Tolbert) என்பவர்

ஒளிச்சுவாசச் செயலின் பல்வேறு நிலைகளை முழுமையாகக் கண்டறிந்து ஒரு திட்டவரைவை வெளியிட்டார். அது பின்வருமாறு:

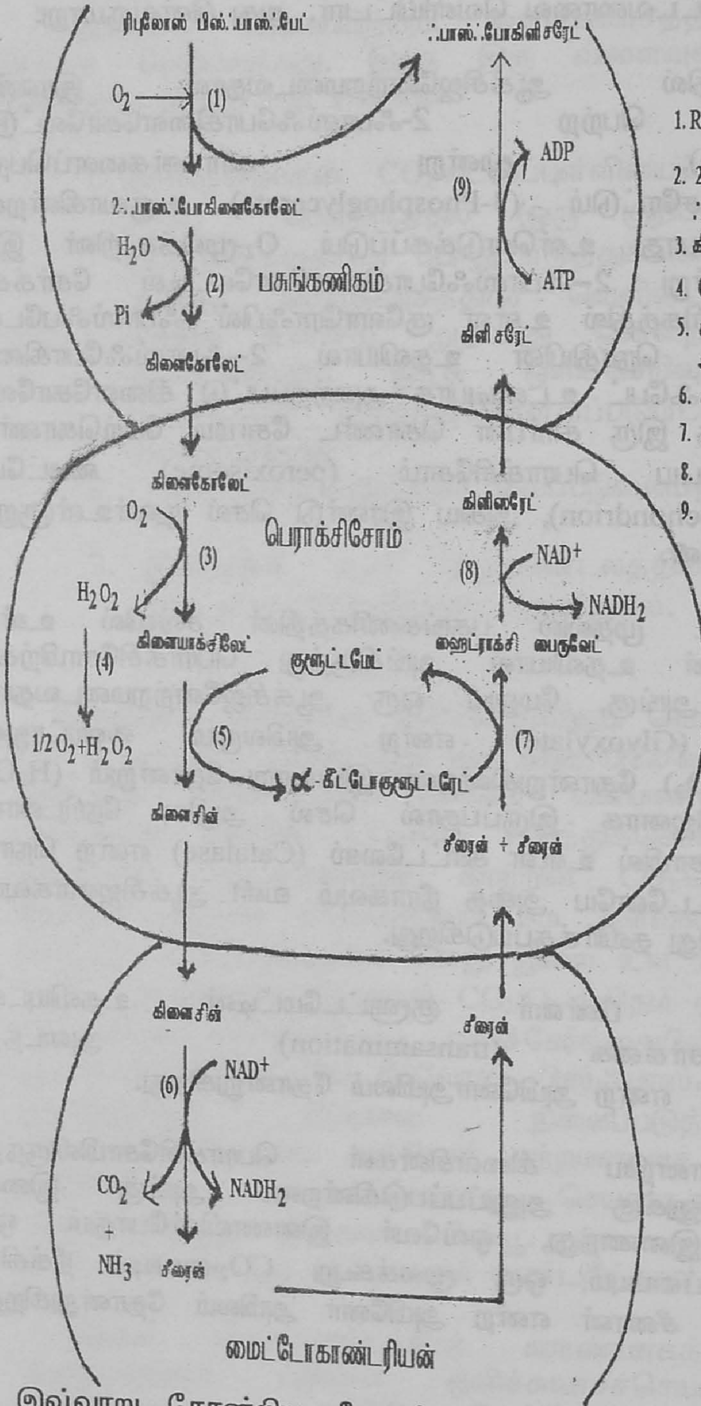
பசுங்கணிகத்தில் ஆக்சிஜனேற்றமடைவதால் இரண்டு கார்பன்களைப் பெற்ற 2-ஃபாஸ்ஃபோகிளைகோலேட்டும் (2-Phosphoglycolate), மூன்று கார்பன்களைப்பெற்ற 3–ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரேட்டும் (3-Phosphoglycerate) உருவாகின்றன. இந்தச் செயலின்போது உள்ளெடுக்கப்படும் O_2-மூலக்கூறின் இரு அணுக்களில் ஒன்று 2–ஃபாஸஃபோகிளைகோலேட்டில் சேர்க்கப் படுகிறது. பசங்கணிகத்தில் உள்ள குளோரோஃபில் ஃபாஸ்ஃபடேஸ் என்ற குறிப்பிட்ட நொதியின் உதவியால் 2–ஃபாஸ்ஃபோகிளை கோலேடின் ஃபாஸ்ஃபேட் உடனடியாக அகற்றப்பட்டு கிளைகோலேட் உருவாகிறது. இந்த இரு கார்பன் கொண்ட சேர்மம் மேற்கொண்டு வளர்சிதைமாற்றமடைய பெராக்சிசோம் (peroxisome), மைட்டோ காண்டரியன் (mitochondrion), அகிய இரண்டு செல் நுண்உள்ளுறுப் பகளும் உதவுகின்றன.

கிளைகோலேட் முதலில் பசுங்கணிகத்தின் சவ்வில் உள்ள கடத்திப் புரதத்தின் உதவியால் அங்கிருந்து பெராக்சிசோமிற்கக் கடத்தப்படுகிறது. அங்கு, மேலும் ஒரு ஆக்சிஜனேற்றமடைவதால் கிளைஆக்சலேட் (Glyoxylate) என்ற அமிலமும் ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடும் (H_2O_2) தோன்றுகின்றன. இவ்வாறு தோன்றும் (H_2O_2) செயலூக்க ஆக்சிஜனாக இருப்பதால் செல் அழிவு நேரிடலாம். ஆனால் பெராக்சிசோமில் உள்ள காட்டலேஸ் (Catalase) என்ற நொதி (H_2O_2) தோன்றி உடனேயே அதை நீராகவும் வளி ஆக்சிஜனாகவும். மாற்றிவிடுவதால் இது தவிர்க்கப்படுகிறது.

கிளையாகிசிலேட் பின்னர் குளூட்டமேட்டின் உதவியுடன் அமோனியமாற்றுச்சேர்க்கை (transamination) அடைந்து கிளைசின்(Glycine) என்ற அமினோஅமிலம் தோன்றுகிறது.

இவ்வாறு தோன்றிய கிளைசின்கள் பெராக்சிசோமிலிருந்து மைட்டோகாண்டரியனுக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. அங்கு இவை இரண்டிரண்டாக இணைந்து, ஒவ்வோர் இணைவின்போதும் ஓர் அமினோத் தொகுப்பையும் ஒரு மூலக்கூறு CO_2-வையும் நீக்கிக் கொண்டு (Serine) சீரைன் என்ற அமினோ அமிலம் தோன்றுகிறது (படம் –23).

படம்-23



இவ்வாறு தோன்றிய சீரைன்கள் மைட்டோகாண்ட்ரியத்தை விட்டு பெராக்சிசேமை அடைகின்றன. அங்கு ஒவ்வொரு சீரைனும்

அமோனியமாற்றுச்சேர்க்கை மூலம் அமினோதொகுப்பைக் குளூட்டரேட்டுக்குக் கொடுத்து அதை குளூட்டமேட்டாக மாற்றுவதுடன், ஹைட்ராக்சிபைருவேட்டாக மாற்றுகிறது. இந்த ஹைட்ராக்சிபைருவேட் பின்னர் கிளிசரேட்டாக குன்றதலடைகிறது. இறுதியில் கிளிசரேட் பெராக்சிசோமிலிருந்து பசுங்கணிகத்திற்குக் கடத்தப்பட்டு அங்கு ஃபாஸ்ஃபேட்சேர்க்கை அடைந்து 3–ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரேட் உருவாக்கப்படுகிறது.

தொடக்கநிலையில் தோன்றிய 3-ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரேட்டும், இறுதியில் தொன்றிய 3-ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரேட்டும் கால்வின் சுழற்சி மூலம் திரும்பவும் RuBp-ஐ உமிர்ப்பிக்க உதவுகின்றன. கார்போஹைட்ரேட்டுகளை உருவாக்கப் பயன்படுவதில்லை.

இந்த ஒளிச்சுவாசத்தில் முதலில் தோன்றும் அமிலமாகிய 2-ஃபாஸ்ஃபோகிளைகோலேட் இரு கார்பன்களைப் பெற்ற சேர்மமாக இருப்பதால், இச்செயல் ‘C-2 சுழற்சி’ என்றும் ‘கிளைகோலேட் சழற்சி’ என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

3.7.1. ஒளிச்சுவாசத்தின் சிறப்பியல்பு:

இயல்பான செல் சுவாசத்தின் போது குளூகோஸ் ஆக்சிஜனேற்றமடைந்த தாவரங்களுக்குத் தேவையான உயிர்ம ஆற்றல், ATP-கள் மூலம் கிடைக்கிறது. ஆனால் ஒளிச் சவாசச் செயலின்போது ATP-கள் எதுவும் உருவாக்கப்படுவதில்லை. மேலும், ஒளிச்சேர்க்கையின்போது கார்போஹைட்ரேட் தயாரிப்பிற்கு உதவும் கால்வின் சுழற்சி இச்செயலின்போது பாதிக்கப்பட்டு ஒளிச்சேர்க்கைத் திறன் குறைகிறது. இந்த இரு செயல்பாடுகளையும் நோக்கும்போது இச்செயல் ஒரு தேவையற்ற செயல் எனக் கருதத்தோன்றும். ஆனால், இச்செயலினால் சில தாவரங்களுக்கு, குறிப்பாக C-3 தாவரங்களுக்கு, ஒரு நன்மை ஏற்படுகிறது. எனவேதான் இத்தாவரங்கள் இச்செயலைச் செய்கின்றன எனக் கருதப்படுகிறது.

உயர்வான ஒளிச்செறிவும், இலைத் திசுவின் செல் இடைவெளியில் CO_2 செறிவுக் குறைதலும் எற்படும்போது, ஒளிவினையால் உருவான ATP, $NADPH_2$ ஆகியவற்றின் செறிவு உயர்ந்து ஒளிச்சேர்க்கை சாதனங்களான பசுங்கணிகங்கள் சிதயை நேரிடலாம். இந்நிலை எற்படுவதைத் தடுக்க இவை செறிவடைதலைத் தடுக்க வேண்டும். இதனைச் செய்ய ஒளிச்சுவாசம், குறிப்பாக C-3 தாவரங்களுக்குப் பெரிதும் உதவுகிறது. பசுங்கணிகங்களுக்கு உண்டாகும் இப்பாதிப்பு, தாவரங்களுக்கு நீர் நெருக்கடி ஏற்பட்டு இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்ளுதலாலும் நிகழ்கிறது. அப்படிப்பட்ட சூழ்நிலையில் ஒளிச்சுவாசம் இல்லையெனில் தாவரம் அதிக பாதிப்பிற்கு உள்ளாக நேரிடும்.

புவித்தோற்றப் பரிணாமத்தின் தொடக்க காலத்தில் நிலவியிருந்த வளிமண்டலத்தில், CO_2 செறிவு மிகையாக இருந்ததாகக் கருதப்படுகிறது. அக்காலகட்டத்தில் வாழ்ந்திருந்த தாவரங்களிலும் இச்செயல் இருந்திருக்க வாய்ப்பில்லை. காலப்போக்கில் வளிமண்டலத்தில் பசுந்தாவரங்களின் ஒளிச்சேர்க்கையால் உருவான ஆக்சிஜன் மூலம் CO_2/O_2 விகிதம் குறைந்ததாலேயே இச்செயல் தாவரங்களில் தோன்றியிருக்க வேண்டும் என்ற கருத்தும் நிலவுகிறது.

4. நைட்ரஜன் வளர்ச்சிதை மாற்றம் (Nitrigen Metabolism)

தாவரங்களின் செல்களில் காணப்படும் பல்வேறு சேர்மங்களில், நைட்ரஜன் முதன்மை மூலமாகக்காணப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, உட்கரு அமிலங்கள், புரதங்கள் ஆகியவற்றின் கட்டமைப்பிற்கு முறையே உதவக்கூடிய நியூக்ளியோடைடு ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள், அமினோ அமிலங்கள் ஆகியவை நைட்ரஜனால் ஆன சேர்மங்களாகும்.

வளிமண்டிலம் ஒரு மிகப்பெரிய நைட்ரஜன் கொள்களமாகும். இது மிகுதியான அளவில் தனிநைட்ரஜன் என்ற மூலக்கூறு நைட்ரஜன்களைப் பெற்றுள்ளது. வளிமண்டலத்தின் கொள்ளளவில் சுமார் 78 விழுக்காட்டை இம்மூலம் அமைப்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

இந்த வளி நைட்ரஜன்களில் காணப்படும் இரு நைட்ரஜன் அணுக்களுக்கிடையே உள்ள, மிகவலுவான நிலைத்த முச்சகப்பிணைப்பை உடைத்தால் மட்டுமே, அதனைத் தாவரங்களால் பெறஇயலும். உயர் தாவரங்கள் நேரடியாக இச்செயலைச் செய்யும் தகுதியற்றவை. ஆனால் சில பாக்டீரியங்கள், சயனோபாக்டீரியங்கள் போன்ற புரோகேரியோட்டுகளுக்கு மட்டுமே இத்திறன் உள்ளது. எனவே, உயர்தாவரங்கள் தங்களுக்குத் தேவையான நைட்ரஜனை நிலத்திலிருந்தே பெறுகின்றன. நிலத்தில் பெரும்பாலும் நைட்ரஜன் கரிமவடிவில் காணப்படுகிறது. நிலத்தில் காணப்படும் தனிம நைட்ரஜன்களில் குறிப்பிடத்தக்கவை, நிலைபேறான அமோனியா, பரிமாற்றிக்கொள்ளப்படும் அமோனியா, நைட்ரைட்டுகள், நைட்ரேட்டுகள் ஆகியவையாகும். இவற்றுள் பரிமாற்றிக்கொள்ளப்படும் அமோனியா, நைட்ரேட் ஆகியவை மட்டுமே நைட்ரஜன் ஊட்டத்திற்காக உயர்தாவரங்களால் பயன்படுத்திக் கொள்ளப்படுகின்றன.

4.1. தனி நைட்ரஜன் தன்வயமாகும் முறை (அல்லது) உயிரிய நைட்ரஜன் நிலைப்படுத்தப்படுதலின் இயக்க முறை (Assimilation of Free Nitrogen (or) Mechanism of Biological Nitrogen Fixation)

வளிமண்டலத்திலுள்ள தனி நைட்ரஜன்களை நிலம், நீர் ஆகிய வாழிடங்களில் கூட்டுயிர் வாழ்க்கை முறையிலோ அல்லது தனித்துவாழும் உயிரிகளாகவோ உள்ள புரோகேரியோட்டுகள் நிலைப் படுத்துகின்றன. இவ்வுயிரிகள் அனைத்திலும் இச்செயலுக்கு உதவக் கூடிய நைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி காணப்படுகிறது.

மூலக்கூறு நைட்ரஜனைத் தொழிற்சாலை முறையில் நிலைப்படுத்தி எவ்வாறு அமோனியா உருவாக்கப்படுகிறதோ அதேபோல்

உயிரிய நிலைப்படுத்துதலின்போதும் அமோனியா உருவாக்கப்படுகிறது. இவ்விரு செயல்களின் ஒட்டுமொத்த நிகழ்வைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் குறிப்பிடலாம்:

இந்நிகழ்ச்சியில் பயன்படுத்தப்படும் எட்டு எலக்ட்ரான்களில் ஆறு எலக்ட்ரான்கள், தனி நைட்ரஜனைக் குறைதலுறச்செய்து NH_3 உருவாக உதவுகின்றன. மீதமுள்ள இரண்டு எலக்ட்ரான்கள், மூலக்கூறு ஹைட்ரஜன் தோன்ற பயன்படுகின்றன.

இந்த நிலைப்படுதலுக்கு உதவும் நைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி ஒரு கூட்டுப்புரதமாகும். இந்நொதி உற்பத்திக்கான சங்கேதங்களைப் பெற்ற Nif-ஜீன் என்ற ஒருவகை ஜீன் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் புரோகேரியோட்டுகளில் காணப்படுகிறது.

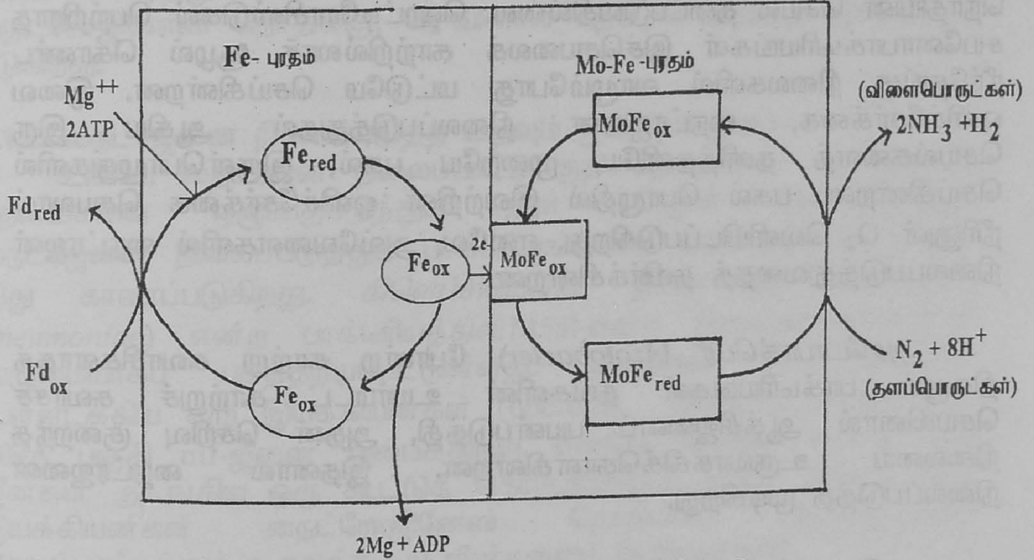
நைட்ரோஜினேஸ் நொதிப்புரதம், Fe-புரதம், Mo-Fe-புரதம் என்ற இரு பகுதிக் கூறுகளால் ஆன ஒரு கூட்டுப்புரதமாகும். இந்த இரு கூறுகளில் எது தனித்திருந்தாலும், இச்செயலைச் செய்ய இயலாது. எனவே இவை இரண்டும் ஒருங்கிணைந்து செயலாற்றினால் மட்டுமே இச்செயல் நிகழ முடியும். இந்த இரு பகுதிக்கூறுகளில் Fe-புரக்கூறு சிறியது. இது 30 முதல் 72 கிலோடால்டன் எடையுடைய இரு ஒத்த துணை அலகுகளால் ஆனது. சிற்றினத்திற்கேற்ப இந்த எடை வேறுபடுகிறது. ஆக்சிஜனை உணரும் திறன் இதற்கு மிக அதிகம். எனவே O_2 முன்னிலையில் மீளமுடியா அளவிற்குச் செயவிழக்கிறது. இதில் இரும்பு-கந்தகத் தொகுதி ஒன்று காணப்படுகிறது. Mo-Fe-புரதக்கூறு, 180 முதல் 235 கிலோடால்டன் எடையுடைய நான்கு ஒத்த துணை அலகுகளால் ஆனது. சிற்றினத்திற்கேற்ப இந்த எடை வேறுபடுகிறது. ஒவ்வொரு துணை அலகிலும் மாலிப்டினம்-இரும்பு-கந்தகத் தொகுப்புகள் (Mo-Fe-S clusters) காணப்படுகின்றன. இப்புரதக்கூறும் ஆக்சிஜன் உள்ள நிலையில் செயலிழக்கிறது. ஆனால் இதன் அரைச்சிதைவுக்காலம் Fe-புரதத்தை விட சற்று அதிகம் நைட்ரோஜினேஸ் நொதியால் நிகழ்த்தப்படும் வினைகளின் திட்ட வரைவு பின்வருமாறு (படம்-24).

இந்த நைட்ரஜன் குறைப்புக் வினையின் ஒட்டு மொத்தச் செயலில் குறைக்கப்பட்ட நிலையில் உள்ள ஃபெரிடாக்ஸின் (Fd_{red}) எலக்ட்ரான் கொடுப்பியாகச் செயல்படுகிறது. நொதியின் Fe-புரதக் கூறுக்கு, இது முதலில் எலக்ட்ரானை அளித்து அதை குறைதலடையச் செய்கிறது. இதைத் தொடர்ந்து ATP மூலக்கூறு பிணைந்து கொள்வதும், பின்னர் நீராற்பகுப்படைவதும் நிகழ்கின்றன. இதன் காரணமாக நொதியின் Fe-புரதம் அமைப்புப்பாங்கு மாற்றமடைந்து

ரெடாக்ஸ் வினைக்குத் தகுந்த சூழலை ஏற்படுத்துகிறது. இந்நிலையில் Mo-Fe-புரதக்கூறுக்கு எலக்ட்ரான்களை Fe-புரதக் கூறு அனுப்பி அதை குறைதலடையச் செய்கிறது. குறைதலடைந்த Mo-Fe-புரதக்கூறு இறுதியில் எலக்ட்ரான்களையும், H^+ அயனிகளையும் வளி நைட்ரஜனுடன் இணைத்து அமோனியா உருவாக உதவுகிறது. இது இறுதியாக நிகழும் குறைதல் செயலாகும்.

படம்- 24

நைட்ரோஜினேஸ் நொதி



4.1.1. நைட்ரோஜினேஸ் நொதிச் செயலின் கட்டுப்பாடு (Regulation of nitrogenase enzyme activity)

நைட்ரோஜினேஸ் நொதி ஆக்ஸிஜன் உள்ள நிலையில் மீள முடியாத அளவிற்குச் செயலிழக்கிறது. எனவே, இதன் திறமையான செயல்பாட்டிற்குச் சில கட்டுப்பாட்டு முறைகள் தேவைப்படுகின்றன. இவற்றுள் சில பின்வருமாறு:

கட்டாயக் காற்றில்லா சுவாசிகளாகத் திகழும் *கிளாஸ்ட்ரிடியம்* (*Clostridium*), *அசிடோபாக்டர்* (*Acetobacter*) *பெய்ஜெரின்கியா* (*Beijerinckia*) போன்ற பாக்டீரியங்களுக்கு இந்தக் கட்டுப்பாட்டு முறை தேவையில்லை. அதேபோல் விருப்பக் காற்றில்லா சுவாசிகளாகத் திகழும் *பேசில்லஸ்* (*Bacillus*), *கிளெப்சியெல்லா* (*Klebsiella*) போன்ற பாக்டீரியங்கள் காற்றில்லா சுவாசச் சூழலில் வாழும் போது மட்டும் நைட்ரஜன் நிலைப்படுத்திக்கொள்கின்றன. எனவே, இவற்றிற்கும் இந்த கட்டுப்பாட்டு முறை தேவையில்லை. ஆனால் காற்று சுவாசியாகத் திகழ்ந்து, ஆக்ஸிஜன்உள்ள நிலையில் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும்,

நுண்ணுயிரிகள் காற்றில்லா உட்புறச் சூழலை ஏற்படுத்திக் கொள்ள வேண்டியது தேவையாகிறது.

எடுத்துக்காட்டாக, இழை உடல சயனோபாக்டீரியங்கள் இச்செயலை ஹெட்டிரோசிஸ்ட் (Heterocyst) என்ற சிறப்பான செல்களில் மட்டுமே செய்கின்றன. ஏனெனில், இச்செல்களில் ஒளிச் சேர்க்கையின் ஒளிஒருங்கு-II இல்லாத காரணத்தால் O_2 வெளியேற்றம் நிகழ்வதில்லை. மேலும், வளி ஆக்சிஜன் உட்புகுவதுமில்லை. எனவே, நொதியின் செயல் தடைபடுவதில்லை. ஹெட்டிரோசிஸ்டுகள் பெற்றிராத சயனோபாக்டீரியங்கள் இச்செயலைக் காற்றில்லாச் சூழல் கொண்ட நீர்தேங்கு நிலைகளில் வாழும்போது மட்டுமே செய்கின்றன. இவை ஒளிச்சேர்க்கை, நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துதல் ஆகிய இரு செயல்களைத் தனித்தனியே, முறையே பகல், இருள்பொழுதுகளில் செய்கின்றன. பகல் பொழுதில் இவற்றின் ஒளிச்சேர்க்கை செயலால் நீரினுள் O_2 வெளியிடப்படுகிறது. எனவே, அவ்வேளைகளில் நைட்ரஜன் நிலைப்படுத்துவதைத் தவிர்க்கின்றன.

அசடோபாக்டெர் (*Azotobacter*) போன்ற காற்று சுவாசிகளாகத் திகழும் பாக்டீரியங்கள் தங்களின் உயர்மட்ட காற்றுச் சுவாசச் செயலினால் ஆக்சிஜனைப் பயன்படுத்தி, அதன் செறிவு குறைந்த நிலையை உருவாக்கிக்கொள்கின்றன. இதனால் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்த முடிகிறது.

அசோஸ்பைரில்லம் (*Azospirillum*) உயர் தாவர வேர்களைச் சூழ்ந்து அடர்ந்த கூட்டமைவை ஏற்படுத்திக் கொள்கிறது. ஒவ்வொரு கூட்டமைபிலும் புறப்பகுதியில் உள்ள பாக்டீரியங்களே O_2 உள்ள சூழலுக்கு உட்படுகின்றன. கூட்டமைப்பின் உட்புறமாக காற்றில்லாச் (O_2 இல்லாத) சூழ்நிலை நிகழ்வதால் அங்குள்ள பாக்டீரியங்கள் தடையின்றி நைட்ரஜன்களை நிலைப்படுத்துகின்றன.

லெகூம் தாவரங்களின் வேர் முடிச்சுகளில் கூட்டுயிரி வாழ்க்கை நடத்தும் *ரைசோபியம்* (*Rhizobium*) பாக்டீரியங்களில் நைட்ரோஜினேஸ் நொதியின் செயல்பாடு இரு விதங்களில் பாதுகாக்கப்படுகிறது. (1) வேர் முடிச்சுப் பகுதிக்கு O_2 ஊடுகடத்தப்படுதலை ஒழுங்குபடுத்துவதன் மூலம் பாதுகாத்துக் கொள்ளுதல் ஒரு விதம். (2) ஆக்சிஜனைப் பிணைத்துக் கொள்ளும் லெக்-ஹீமோகுளோபின் (Leg-haemoglabin) என்ற சேர்மத்தின் உதவியால் பாதுகாத்துக் கொள்ளுதல் மற்றொரு விதம். லெக்-ஹீமோ குளேபின் ரைசோபியத் தொற்றினைப் பெற்ற வேர்முடிச்சு செல்களின் சைட்டோபிளாசத்தில் காணப்படும் ஒரு சேர்மமாகும். இதன் ஹீம், குளோபின் ஆகிய இரு பகுதிக்ளில்,

குளோபின் என்ற புரதப்பகுதி, பாக்டீரியத் தொற்றின் தூண்டுதலால் ஓம்புயிரி தாவரச் செல்லில் உருவாகும் சேர்மமாகும். இரும்பு சேர்மத்தாலான ஹீம் பகுதி பாக்டீரியக் கூட்டுயிரி உருவாக்கித் தரும் பகுதியாகத் திகழ்கிறது. இந்த லெக்-ஹீமோகுளோபின் O_2-வை பிணைத்துக் கொள்வதன் மூலம், வேர் முடிச்சில் ஆக்சிஜனுக்கான ஒரு தாங்கல் சேர்மமாகச் செயல்படுகிறது. அத்துடன் அங்குள்ள பாக்டீரிய செல்களின் சுவாசச் செயலுக்கு ஆக்சிஜனைப் பரவல் செயல் மூலம் எடுத்துக் செல்லவும் உதவுகிறது. இச்செயல்களினால் நைட்ரோஜினேஸ் நொதிக்கு, O_2-வினால் ஏற்படும் பாதிப்புத் தவிர்க்கப் படுகிறது.

4.1.2. நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்த உதவும் ஜீன் (nif-ஜீன்)

உயிரிய நைட்ரஜன் நிலைப்பாட்டிற்குத் தேவையான அடிப்படைத் தேவைகளை ஒழுங்குபடுத்தும் ஜீன் nif-ஜீன் எனப்படுகிறது. நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் பாக்டீரியங்களின் பிளாஸ்மிடு-DNA-யில் இது காணப்படுகிறது. *கிளெப்சியெல்லா நிமோனியே* (*Klebsiella pneumoniae*) என்ற பாக்டீரியத்தின் M5al-என்ற இனக்கூறின் nif-ஜீன் முழுமையாகப் படித்தறியப்பட்டுள்ளது. மொத்தம் 17 ஜீன்களை உள்ளடக்கிய ஏழு இயக்கியன்கள் (operons) கொண்ட பிளாஸ்மிடு-DNA பகுதி nif-ஜீனை அமைக்கிறது. எனவே, nif-ஜீன் என்பது பல ஜீன்கள் அடங்கிய ஒரு கூட்டுத் தொகுதியாகும். இதன் முதல் ஐந்து இயக்கியன்கள் நைட்ரோஜினேஸ் நொதியின் அமைப்பிற்கும் செயல்பாட்டிற்கும் உதவக்கூடிய ஜீன்களைப் பெற்றுள்ளன.

Nif- ஜீனின் முதல் இயக்கியன் ஒரு ஜீன் பெற்ற இயக்கியனாகும். நைட்ரோஜினேஸ் நொதியின் எலக்ட்ரான் கடத்து செயலோடு தொடர்புடைய விளைபொருட்களை உற்பத்தி செய்ய உதவும் ஜீன் இதுவாகும். இரண்டாவது இயக்கியன், நொதியின் அடிப்படை அமைப்பு புரதங்களுக்கான அமைப்பு ஜீன்களைப் (structural genes) பெற்ற பகுதியாகும். மூன்றாவது இயக்கியன் நைட்ரோஜினேஸ் நொதியின் Mo-Fe-புரதத்தின் உற்பத்திக்கு உதவும் ஜீன்களைப்பெற்ற பகுதியாகும். நான்காவது இயக்கியன் Mo-Fe-புரத உற்பத்தியின்போது, மரபுத்தகவல் பெயர்வுக்குப் பின் நிகழும் மாற்றங்களை, ஒழுங்கு படுத்த உதவும் ஜீன்களைப் பெற்ற பகுதியாகும். இயக்கியன் ஐந்து, நொதியின் Fe-புரத உற்பத்தியின் போது, மரபுத்தகவல் பெயர்வுக்குப் பின் நிகழும் மாற்றங்களை ஒழுங்குபடுத்த உதவும் ஜீன்களைப் பெற்ற பகுதியாகும்

லெகூம் தாவரங்களில் வேர் முடிச்சில் கூட்டுயிரி வாழ்க்கை முறையில் நைட்ரஜன் நிலைப்படுத்தும் *ரைசோபியம்* பாக்டீரியத்தில் nif-ஜீன் தவிர, வேர்முடிச்சை உருவாக்க உதவும் முடிச்சுஜீன் (Nod-gene)

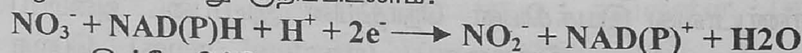
என்ற ஜீனும் உதவுகிறது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இங்கு நிகழும் நைட்ரஜன் நிலைப்பாட்டிற்கு, பாக்டீரிய ஜீன்களுடன் லெகூம் தாவரத்தின் வேர்செல்களில் காணப்படும் சில ஜீன்களும் உதவுகின்றன. குறிப்பாக, *ரைசோபியம்* பாக்டீரியதை வேர்பகுதியை நோக்கி ஈர்க்க உதவும் நாடுலின் (nodulin) சேர்மத்தை உற்பத்தி செய்வதற்கும், நைட்ரோஜினேஸ் நொதியை வளி ஆகசிஜனிலிருந்து பாதுகாக்க உதவும் லெக்-ஹீமோ குளோபின் சேர்மத்தின் குளோபின் புரதத்தை உற்பத்தி செய்வதற்கும் தேவையான ஜீன்கள் வேர் செல்களில் காணப்படுகின்றன.

4.2. நைட்ரேட் தன்வயமாதல் (Nitrate Assimilation)

உயர்தாவரங்கள் வேர்கள் மூலம் உள்ளெடுக்கும் நைட்ரேட் அனைத்தும் கரிம நைட்ரஜன்களாகத் தன்வயமாகின்றன. இவற்றுள் புரதத்தை அமைக்கும் அமினோ அமிலங்கள் குறிப்பிடத்தக்கவை. அமினோ அமிலங்கள் உருவாவதற்குமுன், நைட்ரேட்டுகள் அமோனியங்களாக மாற்றப்படுகின்றன. இதில் நிகழும் செயல் ஒரு குறைதல் (ஹைட்ரஜன் ஏற்றம்) செயலாகும். இது இரு நிலைகளில் நிகழ்கிறது. முதல் நிலையின்போது நைட்ரேட்டுகள், சைட்டோ பிளாசத்தில் நைட்ரைட்டுகளாக மாற்றப்படுகின்றன. இரண்டாவது நிலையின்போது நைட்ரைட்டுகள் அமோனியங்களாகக் குறைக்கப் படுகின்றன. இந்த இரண்டாவது செயல், இலைகளில் பசுங்கணிகங்களிலும், வேர்களில் வெளிர்கணிகங்களிலும் நிகழ்கின்றது.

4.2.1. நைட்ரேட் குறைதலுற்று நைட்ரைட் தோன்றுதல்

இதனை நிகழ்த்தும் நொதிக்கு நைட்ரேட் ரிடக்டேஸ் (Nitrate Reductase-NR) என்று பெயர். இதன் ஒட்டுமொத்த வேதிச்செயலைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்:



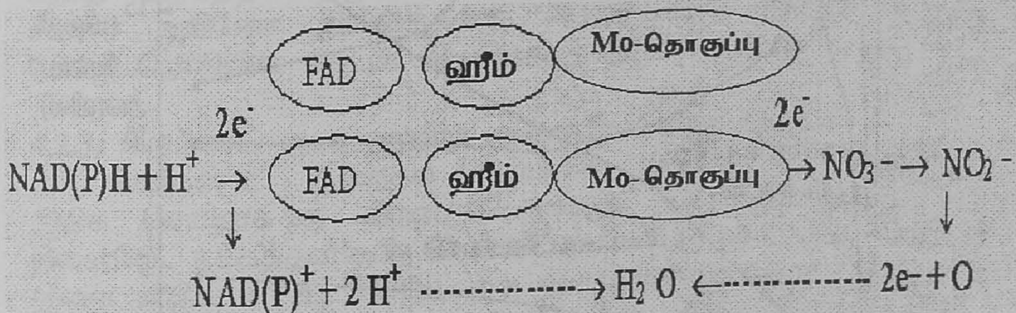
$$NO_3^- + NAD(P)H + H^+ + 2e^- \longrightarrow NO_2^- + NAD(P)^+ + H2O$$

இவ்வேதிச்செயலை நிகழ்த்தும் NR-நொதி, குறைதலுக்கான எலக்ட்ரான்களைப் பெற, NADH-ஐ சார்ந்தோ அல்லது NADPH-ஐ சார்ந்தோ செயல்படுகிறது. எனவே தான் சமன்பாட்டில் NADP(H) எனக் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது. பச்சையம் கொண்ட திசுக்களின் செல்களில் இது NADH அல்லது NADPH-ஐ சார்ந்து செயல் செயல்படுவதும், பச்சையமற்ற திசுக்களில் NADH-ஐ மட்டும் சார்ந்து செயல் செயல்படுவதும் குறிப்பிடத்தக்கது.

NR-நொதி இரு ஒத்த துணை அலகுகளைப் பெற்ற சேர்மமாகும். எனவே இது ஒத்தஇருமடிச்சேர்மம் (Homodimer) எனப்படுகிறது. ஒவ்வொரு துணை அலகும் 100 கிலோ டால்டன் எடை கொண்டது.

FAD, ஹீம், மாலிப்டினம் தொகுப்பு என மூன்று இணைத் (Prosthetic) தொகுப்புகளைப் பெற்றுள்ளது. மாலிப்டினம் தொகுப்பில், மாலிப்டினம் பிணைந்துள்ள கரிமப்புரதம் ஒன்று காணப்படுகிறது. டெரிடைன் என்ற சேர்மத்திலிருந்து தோன்றிய வண்ணப்புரதம் இதுவாகும். தாவரங்களில் NR-நொதி மாலிப்டினத்தைப் பெற்ற முதன்மைச் சேர்மமாகத் திகழ்வதால், மாலிப்டினப் பற்றாக்குறை ஏற்படும்போது இந்நொதியின் செயல் தடைபட்டு, நைட்ரேட்டுகள் சேர்க்கையுறுவது ஒரு குறிப்பிடப்படும்படியான பற்றாக்குறை அறிகுறியாகும். NR-நொதியின் அமைப்பு மாதிரியும், நைட்ரைட் உருவாவதும் பின்வருமாறு (படம்-25):

படம்-25



FAD-யை பிணைத்திருக்கும் துணை அலகு NADH அல்லது NADPH-இல் இருந்து இரு எலக்ட்ரான்களைப் பெற்று குறைதலடைகிறது. இந்த எலக்ட்ரான்கள் பின்னர் ஹீம் பகுதி வழியாக மாலிப்டினம் தொகுப்பிற்கு அனுப்பப்படுகின்றன. இறுதியில் இத்தொகுப்பிலிருந்து நைட்ரேட்டிற்கு மாற்றப்பட்டு நைட்ரைட் உருவாகிறது.

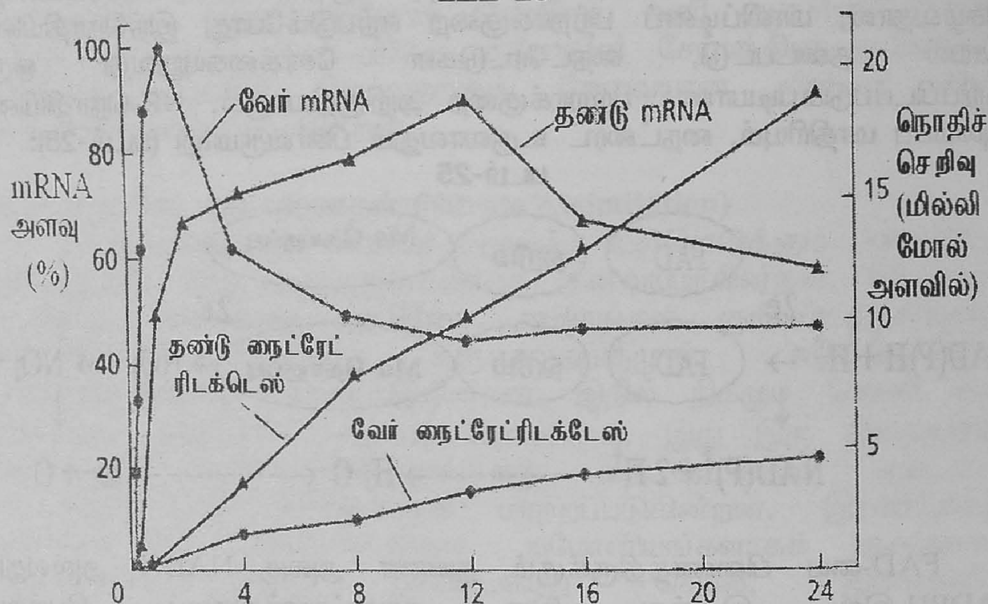
4.2.2. நைட்ரேட் ரிடக்டேஸ் நொதிச் செயலின் கட்டுப்பாடு (Regulation of Nitrate reductase Enzyme Activity)

நைட்ரேட் ரிடக்டேஸ் நொதியின் செயல்பாடு, இந்நொதியின் உற்பத்திக்கான ஜீன் செயல்பாடு, ஆகிய இரண்டும் கிடைக்கும் நைட்ரேட்டின் செறிவு, ஒளி அளவு, கார்போஹைட்ரேட்டின் அளவு ஆகியவற்றைப் பொறுத்து பெரிதும் வேறுபடுகின்றன. இந்த மூன்று காரணிகளும் செல்லினுள் இந்த நொதியின் உற்பத்தியை ஒழுங்குபடுத்தும் காரணிகளாக உள்ளன.

பார்லி நாற்றுகளுக்கு, நைட்ரேட் அளிக்கப்பட்ட நாற்பதாவது நிமிடத்தில் நைட்ரேட் ரிடக்டேஸ் உற்பத்திக்கு உதவும் mRNA-கள் தோன்றத் தொடங்குகின்றன என்பதும், மூன்று மணி நேரத்திற்குள் இதன் உற்பத்தி உச்சநிலையை அடைகிறது என்பதும் கண்டறியப் பட்டுள்ளது.

நொதிப்புரத்தை உற்பத்தி செய்ய உதவும் mRNA, உச்ச நிலைச் செறிவை அடைவது மிகத்துரிதமாக நிகழ்கிறது. ஆனால், நைட்ரேட் ரிடக்டேஸ் நொதியின் செயல்திறன் படிப்படியாக உயர்கிறது என்பதைப் படம்-26இல் தரப்பட்டுள்ள வரைப்படம் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

படம்-26



இதற்கு இரு காரணங்கள் கூறப்படுகின்றன:

(i) mRNA-களிலிருந்து மரபுத்தகவல் பெயர்வு விரைந்து நிகழ்ந்தாலும், செயல்படும் திறன்பெற்ற நொதிப் புரதங்கள் சேகரமடைவது தாமதமாக நிகழ்வது முதல் காரணம்.

(ii) மரபுத்தகவல் பெயர்வுக்குப் பின்னர், நொதிப்புரதம் சில மாற்றங்கள் அடைய வேண்டியுள்ளது, இம்மாற்றங்கள் நிகழ உதவும் வினை மீள்வினையாக உள்ளதால், மீள்வினை நிகழ்ந்து நொதிப்புரதம் பக்குவமடைவது தாமதிக்கப்படுதல் இரண்டாவது காரணம்.

இருப்பினும் ஒளி, கார்போஹைட்ரேட் செறிவு போன்ற காரணிகள் அதிகமுள்ள நிலையில் இந்த மீள்வினை நிகழ்வது தடைபட்டு நொதியின் செயல்திறன் துரிதப்படுகிறது இதற்குக் கீழ்க்கண்ட உயிர்வேதிய விளக்கம் தரப்பட்டுள்ளது:

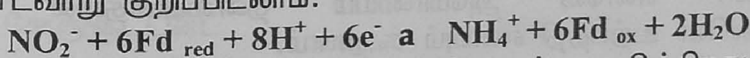
நொதிப்புரத்தில் ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடைந்த சீரைன் அமினோ அமிலங்கள் அதிக அளவில் காணப்படுகின்றன. இந்த அமிலங்களிலிருந்து ஃபாஸ்ஃபடேஸ் என்ற நொதியின் செயலால்

ஃபாஸ்ஃபேட் நீக்கப்படும் போது நொதி துரிதமாகச் செயல்படத் தொடங்குகிறது. இந்த ஃபாஸ்ஃபடேஸ் நொதியின் உற்பத்தியைத் தீர்மானிக்கும் காரணிகளாக ஒளியும் கார்போஹைட்ரேட் செறிவும் விளங்குகின்றன. எனவே, இவ்விரு காரணிக்ளும், ஃபாஸ்ஃபடேஸ் நொதியின் உற்பத்தியைத் தீர்மானிப்பதன் மூலம், நைட்ரேட் ரிடக்டேஸின் செயல்திறனை ஒழுங்கு படுத்துகின்றன.

ஒளி இல்லாத இருள்பொழுதில் இதற்குமாறாக Mg^{2+} அயனிகள், புரதகைனேஸ் என்ற ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கையை ஊக்கப்படுத்தும் நொதி உற்பத்தியைத்தூண்டுகின்றன. இந்தப் புரதகைனேஸ் நொதி சீரைன் அமினோ அமிலங்களை ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கை அடையச் செய்து நொதியின் செயல் வேகத்தைத் தடுக்கிறது.

4.2.3. நைட்ரைட் குறைதலுற்று அமோனியம் தோன்றுதல்

மேற்கண்ட குறைதல் செயலால் தோன்றிய நைட்ரைட்டுகள் அதிக செயலூக்கத் திறன் பெற்றவை. தனி அயனிகளாக உள்ள நிலையில் நச்சுத்தன்மை கொண்டவை. எனவே, தாவர செல்களில் இவை உருவான உடனேயே சைட்டோபிளாசத்திலிருந்து உடனடியாகக் கணிகங்களுக்குக் கடத்தப்படுகின்றன. இலைத்திசுக்களாக இருப்பின் பசுங்கணிகத்திற்கும், வேர்த்திசுக்களாக இருப்பின் வெளிர் கணிகங்களுக்கும் அனுப்பப்படுகின்றன. கணிகங்களில் காணப்படும் நைட்ரைட் ரிடக்டேஸ் (Nitrite reducture-NiR) என்ற நொதி இந்த நைட்ரைட் அயனிகளை அமோனியங்களாகக் குறைதலடையச் செய்கிறது. பசுங்கணிகங்கள், வெளிர்கணிகங்கள் ஆகியவற்றில் காணப்படும் NiR-நொதிகள் வெவ்வேறு அமைப்புக் கூறுகளைப் பெற்றிருந்தாலும், இரண்டும் எலக்ட்ரான்களை ஃபெரிடாக்சின் மூலம் நைட்ரைட்டிற்கு அனுப்பி அதனை அமோனியமாகக் குறைதலடையச் செய்கின்றன. இவற்றின் ஒட்டு மொத்த வேதிச்செயலைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்:



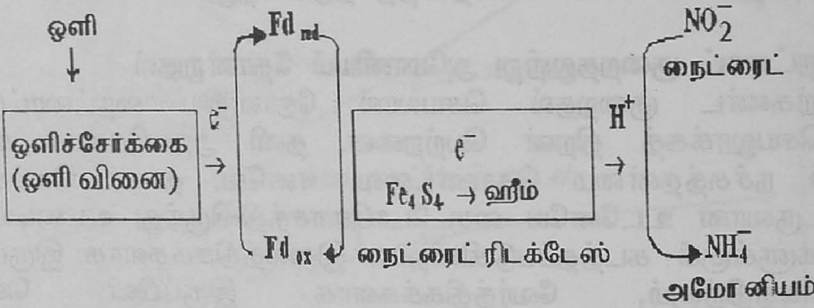
$$NO_2^- + 6Fd_{red} + 8H^+ + 6e^- \text{ a } NH_4^+ + 6Fd_{ox} + 2H_2O$$

இதில் Fd-என்பது ஃபெரிடாக்சினைக் குறிக்கிறது. இதில் அடிச்சொற்களாக இடப்பட்டுள்ள ‘red’, ‘ox’ ஆகியவை முறையே Fd-யின் குறைக்கப்பட்ட, ஆக்ஸிஜன் ஏற்றமடைந்த நிலைகளைக் குறிக்கும் சொற்களாகும். பசுங்கணிகங்களில் நைட்ரைட்டின் குறைதல் செயலுக்கு உதவும் Fd_{red}, ஒளிச்சேர்க்கையின் ஒளிவினையின்போது நிகழும் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் செயலிலிருந்து கிடைக்கிறது. பச்சையமற்ற திசுக்களில் இதற்கான எலக்ட்ரான்கள், பென்டோஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் வழிப்பாதையின் போது உருவாகும் NADPH-மூலம் கிடைக்கின்றன.

NiR-நொதி 63 கிலோடால்டன் மூலக்கூறு எடை பெற்ற, ஒற்றைப் பாலிபெப்டைடால் ஆன நொதியாகும். இதில் இரும்பு-கந்தகம் (Fe_4-S_4) தொகுப்பு ஒன்றும், தனிச்சிறப்பான ஹீம்பகுதி ஒன்றும் இணைத் தொகுப்புகளாக உள்ளன. நொதியுடன் இணைந்துள்ள Fe_4-S_4-ஹீம் இணை, ரெடாக்ஸ் நிலையிலான எந்தவித இடைப்பட்ட நைட்ரஜன் சேர்மங்களும் தோன்ற இடமளிக்காமல், நேரடியாக நைட்ரைட்டை அமோனியமாக குறைக்க உதவுகிறது.

ஃபெரிடாக்சின் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் ஓட்டமடைந்து, இந்நொதியின் உதவியால் NH_4 தோன்றுவதைப் படம்-27இல் காணலாம்.

படம்-27



4.3. அமோனியம் தன்வயமாதல் (அல்லது) அமினோ அமில உற்பத்தி (Ammonium assimilation (or) Amino acid synthesis)

அமோனியம் அயனிகளும் நச்சுத் தன்மை கொண்டவை. எனவே, நைட்ரேட்டுகள் தன்வயமாகி உருவான அமோனியங்களும், ஒளிச்சுவாசச் செயலின்போது உருவாகும் அமோனியங்களும், உடனடியாக அமினோ அமிலங்களின் உற்பத்திக்குப் பயன்பட்டு விடுகின்றன. தாவரங்களில் உருவான கார்பாக்சிலிக் அமிலங்களுடன் அமோனியங்கள் சேர்க்கப்பட்டு அமினோ அமிலங்கள் உற்பத்தி யாகின்றன. எனவே அமோனியம் தன்வயமாதலை அமினோ அமிலங்களின் உற்பத்தி எனவும் கூறலாம்.

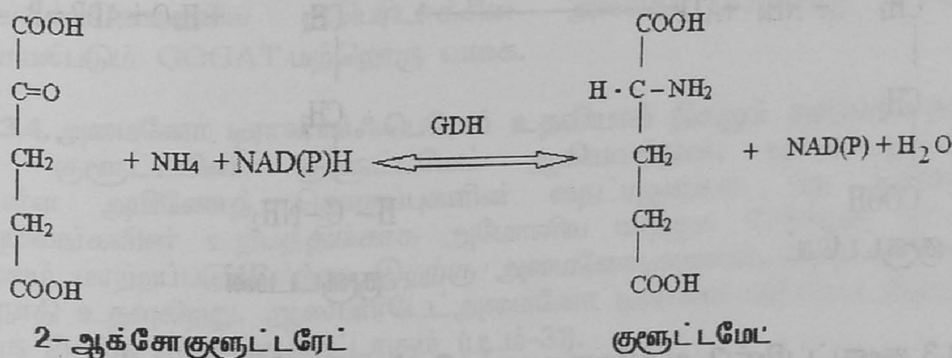
குளூட்டமேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் (Glutamate dchydrogenase-GDH), குளூட்டமின் சிந்தடேஸ் (Glutamine synthetase-GS), குளூட்டமின்:2-ஆக்ஸோகுளூட்டரேட் அமைனோடிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் (Glutamine:2-Oxoglutarate aminotransferase-GOGAT), ஆஸ்பார்டேட் அமைனோடிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் (Aspartate aminotransferase) ஆகிய நான்கு முக்கிய நொதிகளின் உதவியால் வெவ்வேறு செயல்களாக இது நிகழ்கிறது.

4.3.1. குளூட்டமேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் உதவியால் தன்வயமாதல்

கிரெப் சுழற்சியின் விளைபொருளான 2-ஆக்ஸோகுளூட்டரேட் என்ற கீட்டோ அமிலத்துடன் அமோனியா சேர்க்கப்பட்டு குளூட்டமேட் என்ற அமினோஅமிலம் உற்பத்தியாதலை இந்த நொதி ஊக்குவிக்கிறது. இதே நொதி உருவான குளூடமேட் என்ற அமினோ அமிலத்தைத், தேவைப்படும்போது அமோனிய நீக்கச்செயல் மூலம் மீண்டும் 2-ஆக்சோகுளூட்டரேட்டாக மாற்ற உதவுகிறது.

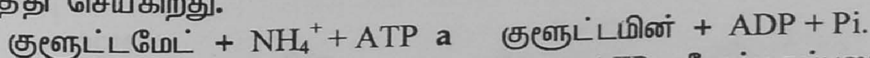
குளூட்டமேட் உற்பத்தியாகும்போது, 2-ஆக்சோகுளூட்டரேட் நொதியன் கீட்டோ தொகுப்பில் உள்ள ஆக்சிஜன் நீக்கப்பட்டு, குறைதல் நிகழ்வதுடன் அமோனியச் சேர்க்கையும் நிகழ்கிறது. எனவே, இச்செயல் குறைப்பு அமோனிய சேர்க்கை (Reductamination) எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. இதற்கு உதவும் எலக்ட்ரான்கள் NADPH அல்லது NADHமூலம் பெறப்படுகின்றன. NADH-ஐ சார்ந்து செயல்படும் குளூட்டமேட்டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதி மைட்டோகாண்ட்ரியங்களிலும், NADPH-ஐ சார்ந்து செயல்படும் GDH–நொதி பசுங்கணிகங்களிலும் காணப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கது (படம்-28).

படம்-28



4.3.2. குளூட்டமின் சிந்தடேஸ் நொதியின் (GS) உதவியால் தன்வயமாதல்

குளூட்டமின் என்பது ஒரு அமைடு (amide) சேர்மமாகும் குளூட்டமேட் என்ற அமினோ அமிலத்துடன் அமோனியாவை இணைப்பதன் மூலம், GS-நொதி கீழ்க்கண்ட முறையில் இதை உற்பத்தி செய்கிறது.

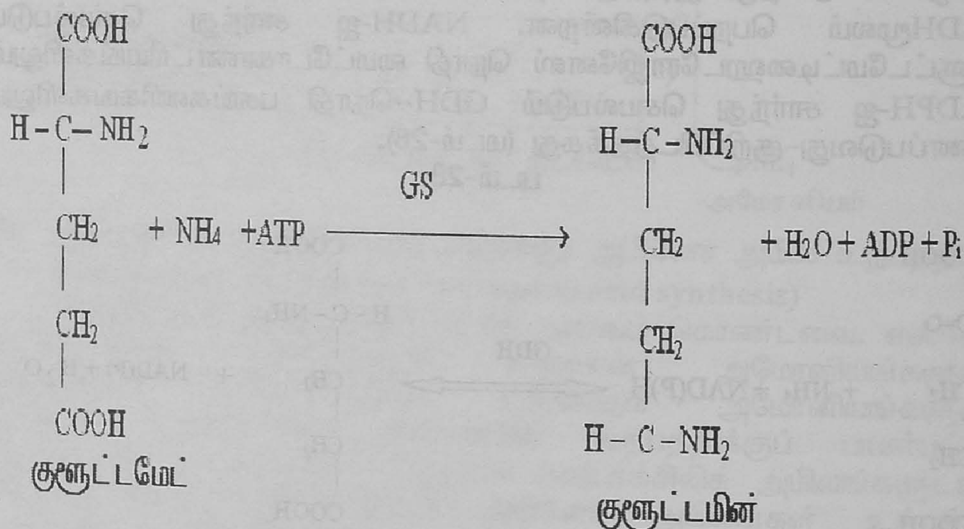


குளூட்டமேட் + NH_4^+ + ATP a குளூட்டமின் + ADP + Pi.

இச்செயலின்போது ஒரு மூலக்கூறு ATP நீராற்பகுப்படைந்து தேவையான ஆற்றலைக் கொடுத்து உதவுகிறது. Mg^{2+}, Mn^{2+} அல்லது CO^{2+} ஆகிய இரட்டை இணைதிறன் பெற்ற நேர் அயனிகள் நொதியின்

செயலுக்கு உதவும் இணைக்காரணிகளாகத் திகழ்கின்றன. தாவரங்களில் இருவகையான GS-நொதிகள் உள்ளன. சைட்டோபிளாசத்தில் ஒரு வகையும், வேர் செல்களின் வெளிர்கணிகங்களிலும், இலை செல்களின் பசுங்கணிகங்களிலும் மற்றொரு வகையும் காணப்படுகின்றன. முளைக்கும் விதைகள், வேர், தண்டு ஆகியவற்றின் வாஸ்குல உருளைகளில் செல்ஊடு நைட்ரஜன் கடத்தலுக்காக, அமைடு நைட்ரஜன்களை உற்பத்தி செய்ய சைட்டோபிளாசத்தில் காணப்படும் GS–நொதி உதவுகிறது. வேர்செல்களின் கணிகங்களில் உள்ள GS-நொதி வேரின் பயன்பாட்டிற்குறிய அமைடு நைட்ரஜன்களை உற்பத்தி செய்யவும், தண்டுத் தொகுப்பின் பசுங்கணிகங்களில் உள்ள GS-நொதி ஒளிச்சேர்க்கை செயலால் உருவாகும் அமோனியங்களைத் தன்வயமாக்கவும் உதவுகின்றன (படம்-29).

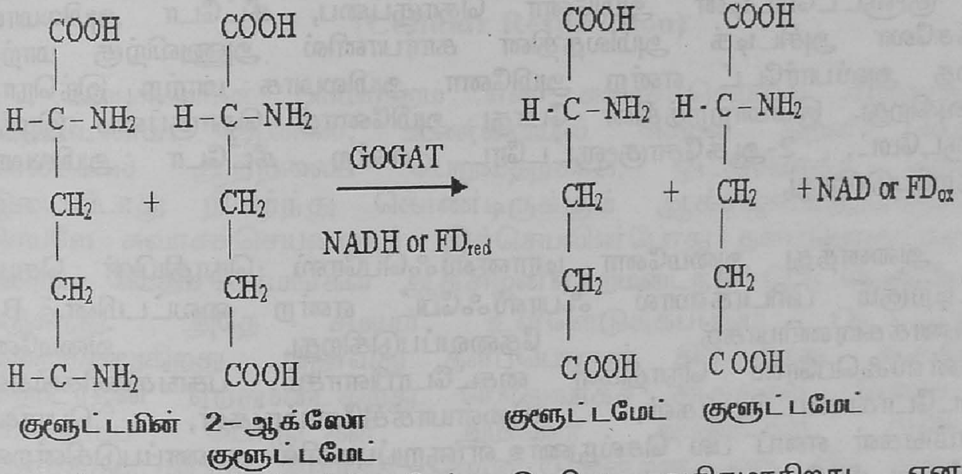
படம்-29



4.3.3. குளூட்டமின்:2-ஆக்ஸோகுளூட்டமேட் அமைனோ டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் (GOGAT) உதவியால் நிகழும் தன்வயமாதல்

கணிகங்களில் குளூட்டமின் செறிவு அதிகமாகும் போது GOGAT–நொதி தூண்டப்படுகிறது. இதன் விளைவால் குளூட்டமினிலிருந்து ஒரு அமினோத்தொகுப்பு, 2-ஆக்ஸோ குளூட்டமேட்டிற்கு மாற்றப்பட்டு இரண்டு மூலக்கூறு குளூட்டமேட்டுகள் உருவாகின்றன (படம்-30).

படம்-30

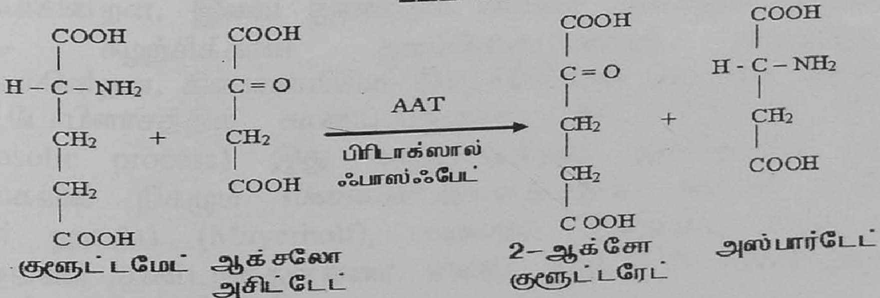


இதனால் குளூட்டமேட்டுகளின் செறிவு அதிகமாகிறது. எனவே GOGAT-நொதி குளூட்டமேட்சிந்தடேஸ் என மறு பெயரிட்டும் அழைக்கப்படுகிறது. தாவரங்களில் இருவகையான GOGAT-நொதிகள் உள்ளன. ஒளிச்சேர்க்கையில் ஈடுபடாத திசுக்களின் கணிகங்களில் ஃபெரிடாக்சின் சார்ந்து செயல்படும் GOGAT நொதி ஒரு வகை; பசுங்கணிகங்களில் ஃபெரிடாக்சின் அல்லது NADH-ஐ சார்ந்து செயல்படும் GOGAT மற்றொரு வகை.

4.3.4. அமைனோ டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் உதவியால் நிகழும் தன்வயமாதல்

குளூட்டமின், குளூட்டமேட் ஆகியவற்றின், மூலக்கூறுகளில் உள்ள அமினோத் தொகுப்புகளின் நைட்ரஜன்கள், பிற அமினோ அமிலங்களின் உற்பத்திக்காக அமோனிய மாற்றுச் சேர்க்கை செயல் மூலம் மாற்றப்படுகின்றன. இதற்கு அமைனோடிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது. ஆஸ்பார்டேட் அமைனோ டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் இதற்கு ஒரு சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும் (படம்-31).

படம்-31



AAT- அஸ்பார்டேட் அமைனோடிரான்ஸ்ஃபெரேஸ்

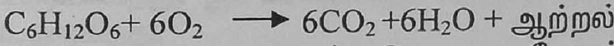
குளூட்டமேட்டின் அமினோ தொகுப்பை, கீட்டோ அமிலமான ஆக்சலோ அசிட்டிக் அமிலத்தின் கார்பானில் அணுவிற்கு மாற்றி அதை அஸ்பார்டேட் என்ற அமினோ அமிலமாக மாற்ற இந்நொதி உதவுகிறது. இம்மாற்றத்தின் போது அமினோத் தொகுப்பை இழந்த குளூடமேட், 2-ஆக்சோகுளூட்டரேட் என்ற கீட்டோ அமிலமாக மாற்றப்படுகிறது.

அனைத்து அமைனோ டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் நொதியின் செயல் பாட்டிற்கும் பிரிடாக்ஸால் ஃபாஸ்ஃபேட் என்ற வைட்டமின் B-6 இணைக்காரணியாகத் தேவைப்படுகிறது. அமைனோ டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் நொதிகள் சைட்டோபிளாசம், பசுங்கணிகங்கள், மைட்டோகாண்ட்ரியங்கள், கிளையாக்சிசோம்ங்கள், பெராகசி சோம்ங்கள் எனப் பல செல்நுண்உள்ளுறுப்புகளில் காணப்படுகின்றன. பல்வேறு கீட்டோ அமிலங்களை அமனோ அமிலங்களாக மாற்ற இந்தச் செயல் மிகவும் உதவுகிறது.

மேற்கூறப்பட்ட நான்கு விதமான அமோனியத் தன்வயமாதல் செயல்களின் விளைவாக, புரதங்களை உருவாக்க உதவும் அமினோ அமிலங்கள் அனைத்தும் உற்பத்தியாகின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

5. செல்சுவாசம்
(Cellular Respiration)

வாயுக்களின் பரிமாற்றம் என சுவாசச்செயலை எளிமையாகக் கூறிவிடலாம். ஆனால், உண்மையில் செயல் திறன் கொண்ட செல்களில் ஆற்றலைப் பெறுவதற்காக, ஒட்டுமொத்த செயலாக இடைவிடாது நிகழ்ந்து கொண்டிருக்கும் ஆக்சிஜனேற்றம்-குறைதல் செயலே சுவாசச்செயலாகும். இச்செயலின்போது தளப்பொருட்களாகத் திகழும் வேதிச்சேர்மங்கள் ஆக்சிஜனேற்றமடைந்து CO_2 வெளியேற்றப் படுகிறது. அதே சமயம் உள்ளெடுக்கப்படும் O_2 நீராகக் குறைதலுறுகிறது. அதாவது தளப்பொருள் சிதைகிறது. ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன் ஏற்றமடைகிறது. பொதுவாகச் சர்க்கரைப் பொருட்கள், கொழுப்புப் பொருட்கள், அமினோ அமிலங்கள் ஆகியவை சுவாசத்தளப்பொருட்களாகச் செயல்படுகின்றன. ஒரு சில நிலையில் புரதங்கள் கூட தளப்பொருட்களாகச் செயல்படுகின்றன. குளூக்கோஸ் தளப்பொருளாக இருப்பின் அதன் சிதைவைக் கீழ்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.



$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ஆற்றல்}$$

மேற்கூறப்பட்ட சமன்பாடு குளூகோஸ் ஆக்சிஜன் ஏற்ற நிகழ்வின் ஒட்டுமொத்தச் செயலைக் குறிக்கும் ஒரு சமன்பாடாகும். ஆனால் உண்மையில், இது பல வேதிச்செயல்களை உள்ளடக்கி, படிப்படியாக நிகழக்கூடிய ஒரு செயலாகும். இதில் மூன்று முக்கிய நிலைகள் உள்ளன: (1) கிளைகாலிசிஸ் (2) TCA-சுழற்சி (3) எலக்ட்ரான் மாற்றுத்தொடர் செயல்.

5.1. கிளைகாலிசிஸ் (Glycolysis)

செல்சுவாசச் செயலின் முதல் நிகழ்ச்சி இதுவாகும். இந்நிகழ்ச்சியில் சுவாசத் தளப்பொருளான குளூக்கோஸ் பிளவுற்று மூன்று கார்பன் சர்க்கரைகளான கிளசரால்டிஹைடு-3-ஃபாஸ்ஃபேட்டும் (G-3-P), டைஹைட்ரக்ஸி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட்டம் (DHAP) ஆகியவை உருவாகின்றன. இவை இரண்டும் பின்னர் ஆக்சிஜன் ஏற்றமடைந்து TCA- சுழற்சிக்கான தளப்பொருட்களான பைரூவேட்டுகள் உருவாகின்றன. கிளைகாலிசிஸ் நிகழ்ச்சிக்கான நொதிகள் அனைத்தும் சைட்டோபிளாசத்தில் காணப்படுவதால், சைட்டோபிளாசச் செயலாக (Cytosolic process) இது கருதப்படுகிறது. இச்செயலில் பல்வேறு நிலைகளில் நிகழும் வினைகள் அனைத்தையும் எம்டன் (Embden), மேயர் ஹாஃப் (Mayerholf), பாரனாஸ் (Paranas) என்ற மூன்று அறிஞர்கள் கண்டறிந்துள்ளனர். எனவே இது EMP-வினைவழிப்பாதை எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

இது புரோகேரியோட்டுகள் யூகேரியோட்டுகள் ஆகிய அனைத்து உயிரினங்களிலும் நடைபெறக்கூடிய நிகழ்ச்சியாகும். பரிணாமச் செயலின் அடிப்படையில் நோக்கும் போது செல்சுவாசச் செயலின் மூன்று நிலைகளில், மிகப்பழமையான செயலாகக் கிளைகாலிசிஸ் கருதப்படுகிறது. ஒளிசேர்க்கை பரிணமித்து ஆக்சிஜன் தோன்றிய காலத்திற்கு முன்னதான காலத்தில், அதாவது வளிமண்டலத்தில் O_2 இல்லாதிருந்த காலத்தில் வாழ்ந்த உயிரினங்களிலும் இந்நிகழ்ச்சி காணப்பட்டிருக்க வேண்டும் எனக் கருதப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். இதன் மூன்று பண்புகள் இதற்கு ஆதாரங்களாகக் கூறப்படுகின்றன:

(1) இச்செயல் நிகழ்வதற்கு ஆக்சிஜன் தேவையில்லை.

(2) பைரூவிக் அமிலத்தை உருவாக்குவதுடன், இந்நிகழ்ச்சியின்போது, ATP, $NADH_2$ என்ற வேதிக்கூறுகளும் தோன்றுகின்றன. இவை ஆதிகாலத்தில் வாழ்ந்திருந்த உயிரினங்களுக்குத் தேவையான வேதி ஆற்றல் தேவையை ஈடுசெய்து கொள்ளப் போதுமானதாக இருந்திருக்க வேண்டும்.

(3) நொதித்தல் செயலின் முதல் நிகழ்ச்சியாக இச்செயல் திகழ்கிறது. எனவே அக்கால உயிரினங்களின் செல்களில் நிகழ்ந்தாக கருதப்படும் நொதித்தல் செயலுக்கும் இந்நிகழ்ச்சியே ஆதாரமாகும்.

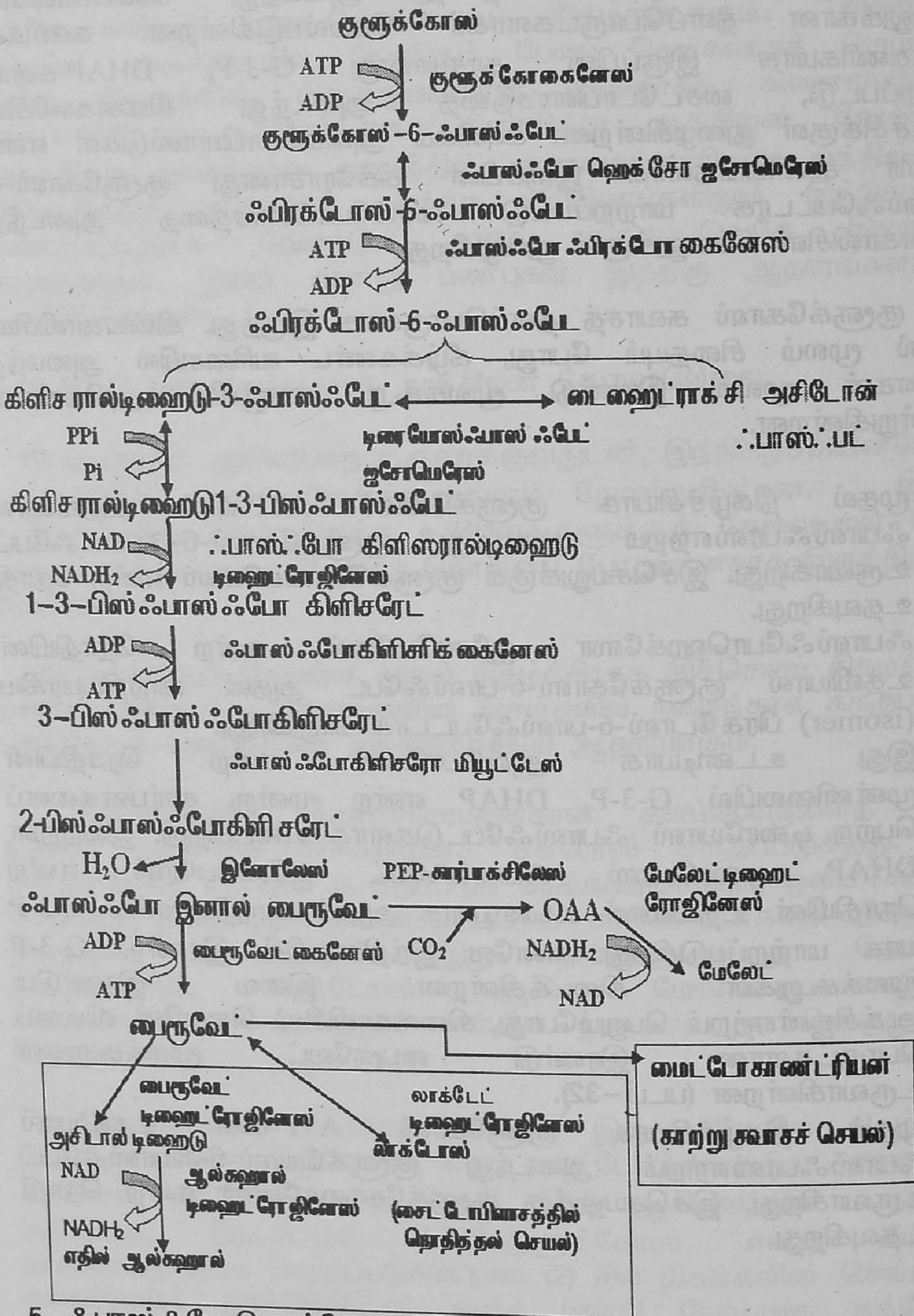
தாவரங்களின் சுவாசச்செயலுக்கான தளப்பொருளைத் தந்து உதவும் முதன்மை சர்க்கரையாக சுக்ரோஸ் கருதப்படுகிறது. இது தாவரங்களில் எளிதில் கடத்தப்படும் சர்க்கரையாகவும், ஒளிச்சேர்க்கை செய்யாத திசுக்களுக்குக் கடத்தப்படும் சர்க்கரையாகவும் திகழ்வதே இதற்குக் காரணமாகும். இது நீராற்பகுப்புற்றுத் தோன்றும் குளுக்கோஸ், பிரக்டோஸ் ஆகிய மோனோசாக்கரைடுகளே கிளைகாலிசிஸ் செயலிற்குள் எளிதில் நுழையும் தளப்பொருட்களாக உள்ளன.

தாவரங்களில் சுக்ரோஸ் சிதைவு இரு வழிகளில் நிகழ்கிறது: (1) பெரும்பாலான திசுக்களில், செல் சைட்டோபிளாசத்தில் காணப்படும் சுக்ரோஸ் சிந்தேஸ் என்ற நொதி, UTP ஆகியவற்றின் உதவியால் சுக்ரோஸ், பிரக்டோஸ், UDP-குளுக்கோஸ் என்ற மோனோ சாக்கரைடுகளாக மாற்றப்படுகின்றன. (2) சில திசுக்களின் செல்சுவரில் காணப்படும் இன்வெர்டேஸ் என்ற நொதி நேரடியாக சுக்ரோசை, குளுகோஸ், பிரக்டோசாக சிதைக்க உதவுகிறது. கணிகங்களில் (Plastid) உற்பத்தியாகும் தரசம் சிதைக்கப்பட்டுத் தோன்றும் சர்க்கரை

பொருட்களும் சைட்டோபிளாசத்தை அடைந்து கிளைகாலிசிஸ் செயலுக்கான தளப்பொருட்களாகச் செயல்படுகின்றன. கணிகம், பசுங்கணிகமாக இருப்பின் தரசமானது G-3-P, DHAP-களாக மாற்றப்பட்டு, சைட்டோபிளாசத்தை அடைந்து கிளைகாலிசிஸ் நிகழ்ச்சிக்குள் நுழைகின்றன. கணிகம் அமைலோபிளாஸ்டுகள் என்ற வெளிர் கணிகங்களாக இருப்பின் சுக்ரோசானது குளூகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டாக மாற்றப்பட்டு சைட்டோபிளாசத்தை அடைந்து கிளைகாலிசிஸ் செயலுக்குள் நுழைகிறது.

குளூக்கோஸ் சுவாசத் தளப்பொருளாக இருந்து, கிளைகாலிசிஸ் செயல் மூலம் சிதையும் போது, கீழ்க்கண்ட வரிசையில் அமைந்த வினைகள் மூலம் இரண்டு மூலக்கூறு பைரூவிக் அமிலங்கள் தோன்றுகின்றன.

1. முதல் நிகழ்ச்சியாக குளூக்கோஸ் ATP-யின் உதவியால் ஃபாஸ்ஃபரஸ்எற்றம் அடைந்து குளூகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் உருவாகிறது. இச்செயலுக்குக் குளூக்கோகைனேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது.
2. ஃபாஸ்ஃபோஹெக்ஸோ ஐசோமெரேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் குளூக்கோஸ்-6-பாஸ்ஃபேட் அதன் மாற்றியமாகிய (isomer) பிரக்டோஸ்-6-பாஸ்ஃபேட்டாக மாறுகிறது.
3. இது உடனடியாக ஆல்டோலேஸ் என்ற நொதியின் முன்னிலையில் G-3-P, DHAP என்ற மூன்று கார்பன்களைப் பெற்ற டிரையோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாக உடைகிறது. இவற்றுள் DHAP, டிரையோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் ஐசோமெரேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் உடனடியாக அதன் மாற்றியமாகிய G-3-P யாக மாற்றப்படுகிறது. எனவே இந்நிலையில் இரண்டு G-3-P மூலக்கூறுகள் கிடைக்கின்றன. இவை இரண்டும் ஆக்சிஜன்ஏற்றம் பெறும்போது, கிளைகாலிசிஸ் செயலின் விளைப் பொருட்களான இரண்டு பைரூவேட் மூலக்கூறுகள் உருவாகின்றன (படம்–32).
4. முதல் நிகழ்ச்சியாக குளூகோஸ் ATP-யின் உதவியால் ஃபாஸ்ஃபரஸ்எற்றம் அடைந்து குளூக்கோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் உருவாகிறது. இச்செயலுக்கு குளூக்கோகைனேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது.



5. ஃபாஸ்ஃபோஹெக்ஸோ ஐசோமெரேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் குளுக்கோஸ்-6-பாஸ்ஃபேட் அதன் மாற்றியமாகிய (isomer) பிரக்டோஸ்-6-பாஸ்ஃபேட்டாக மாறுகிறது.

6. இது உடனடியாக ஆல்டோலேஸ் என்ற நொதியின் முன்னிலையில் G-3-P, DHAP என்ற மூன்று கார்பன்களைப் பெற்ற டிரையோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாக உடைகிறது. இவற்றுள் DHAP, டிரையோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் ஐசோமெரேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் உடனடியாக அதன் மாற்றியமாகிய G-3-P யாக மாற்றப்படுகிறது. எனவே இந்நிலையில் இரண்டு G-3-P மூலக்கூறுகள் கிடைக்கின்றன. இவை இரண்டும் ஆக்சிஜன்ஏற்றம் பெறும்போது, கிளைகாலிசிஸ் செயலின் விளைப் பொருட்களான இரண்டு பைரூவேட் மூலக்கூறுகள் உருவாகின்றன.

7. ஒவ்வொரு G-3-P மூலக்கூறும், தனிம ஃபாஸ்ஃபேட்டான பைரோஃபாஸ்ஃபேட்டின் (ppi) உதவியால் மேலும் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கை அடைந்து, ஆர்த்தோஃபாஸ்ஃபேட்டை (pi) விடுவித்து 1,3-பிஸ்ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசரால்டிஹடாக மாறுகிறது.

8. இந்த பிஸ்ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசரால்டிஹைடு முதல் ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயல் மூலம் (ஹைட்ரஜன் நீக்கம்) 1,3-பிஸ்ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசரேட்டாக மாறுகிறது. வெளியேற்றப்பட்ட ஹைட்ரஜன் NAD-ஆல் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டு $NADH_2$ உருவாகிறது.

9. ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரிக்கைனேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் பிஸ்ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசரேட் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டை இழந்து 3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசரேட்டாக மாறுகிறது. இந்நிலையில் வெளியேறும் ஃபாஸ்ஃபேட்டை ADP ஏற்று ஒரு மூலக்கூறு ATP உருவாகிறது.

10. ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரோ மியூடேஸ் என்ற நொதி 3-ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரேட்டின் மூன்றாவது கார்பனிலிருந்து ஃபாஸ்ஃபேட்டை இரண்டாவது கார்பனுக்கு இடம்பெயரச் செய்து அதை 2-ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரேட்டாக மாற்றுகிறது.

11. பின்னர் இனோலேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் 2-ஃபாஸ்ஃபோகிளிசரேட் நீர்நீக்கவினை அடைந்து ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைரூவேட் உருவாகிறது.

12. இறுதியாக பைரூவிக்கைனேஸ் என்ற நொதி ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைரூவேட்டிலிருந்து ஈனோல் தொகுப்பையும் பாஸ்ஃபேட்டையும் அகற்றி பைரூவேட்டாக மாற்றுகிறது. இந்த நிலையில் மேலும் ஒரு ATP உருவாகிறது.

மேற்கூறப்பட்ட தொடர் வினைகள் மூலம் ஒரு மூலக்கூறு G-3-P ஆக்சிஜன்ஏற்றமடையும் போது ஒரு $NADH_2$-வும், இரு ATP-களும், ஒரு பைரூவேட்டும் விளைபொருட்களாக உருவாகின்றன. DHAP-யிலிருந்து வரும் G-3-P-யும் இதே போல் ஆக்சிஜன்ஏற்றமடைவதால் மொத்தமாக $2NADH_2$-கள் 4ATP-கள், இரண்டு மூலக்கூறு பைரூவேட்டுகள் ஆகியவை உருவாகின்றன.

தொடக்க நிலையில் 2ATP-கள் குளூக்கோசின் ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கைக்குப் பயன்பட்டு விடுவதால், 4ATP-கள் தோன்றினாலும் நிகர விளைவாக 2ATP-களே கிடைக்கின்றன.

ஆக்சிஜனை எடுத்துக்கொள்ளாமல் நிகழும் காற்றில்லாச் சுவாசச் செயலின்போது பைரூவேட் செல்லின் சைட்டோபிளாசத்திலேயே எத்தனால் அல்லது லாக்டிக் அமிலம் போன்ற ஆல்கஹால்களாக அல்லது கரிம அமிலங்களாக முறையே மாற்றப்படுகின்றன. இதற்கு நொதித்தல் என்று பெயர்

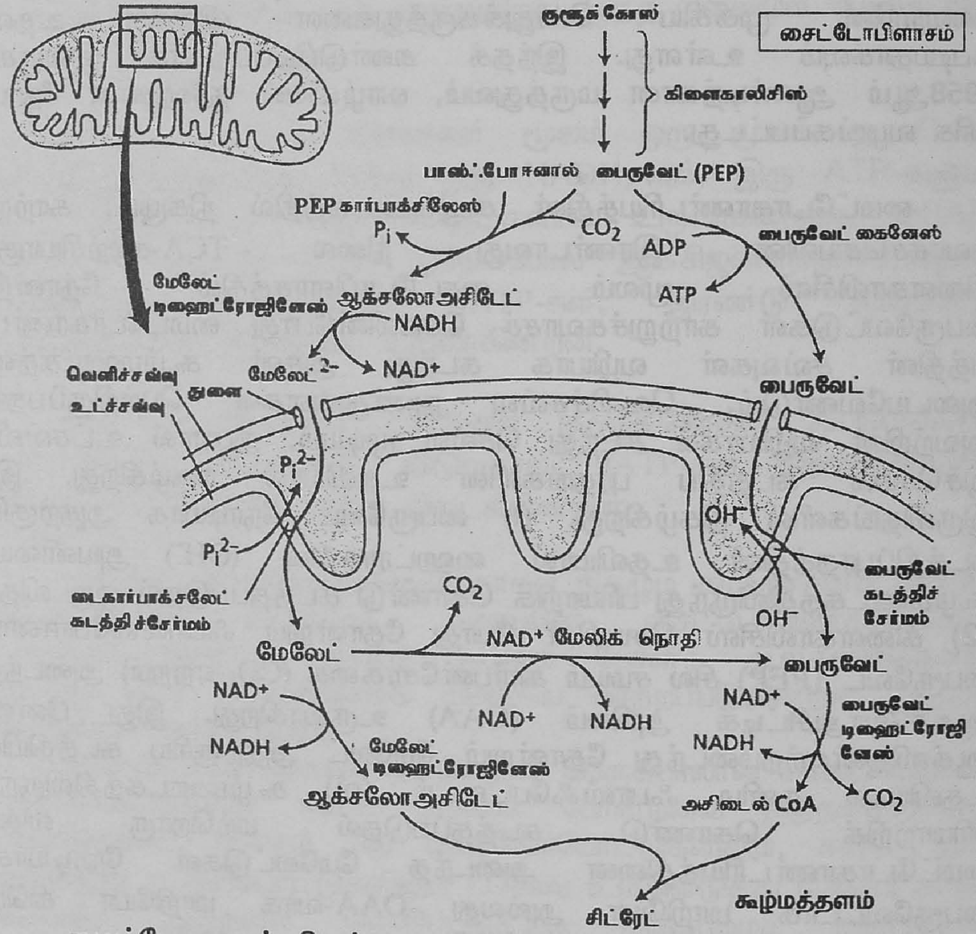
புரோகேரியோட்டுகளாகத் திகழும் பெரும்பாலான பாக்டீரியங்கள், யூகேரியோட்டுகளில் ஈஸ்ட் பூஞ்சை போன்றவை இந்தச்செயலைச் செய்கின்றன. ஆனால் பிற புரோகேரியோட்டுகளிலும், ஈஸ்ட் தவிர அனைத்து யூகேரியோட்டுகளிலும் O_2-வை உள்ளெடுத்து நிகழும் காற்று சுவாசமே ஆற்றலை வெளிப்படுத்தும் முதன்மைச் சுவாசமாகத் திகழ்கிறது. இச்சுவாசத்தின் போது பைரூவேட்டுகள் முழுமையாகச் சிதைவுற்று ஆற்றல் வெளிப்படுவதுடன், CO_2 வெளியேற்றப்படுவதும், உள்ளெடுக்கப்பட்ட O_2 நீராகக் குறைதலடைவதும் நிகழ்கின்றன. சுவாசச் செயலின் அடுத்த இரு நிலைகளான டிரைகார்பாக்சிலிக் அமில சுழற்சி (TCA-cycle), எலட்ரான் மாற்றுத் தொடர் வினை ஆகியவற்றின் உதவியால் இந்தக் காற்றுச் சுவாசச்செயல் நிகழ்கிறது.

5.2. டிரைகார்பாக்சிலிக் அமில சுழற்சி (Tricarboxcylic Acid cycle-TCA Cycle)

பிறப்பால் ஜெர்மனைச் சேர்ந்த பிரிட்டிஷ் நாட்டு உயர்வேதியியல் அறிஞர் ஹான்ஸ் எ. கிரெப்ஸ் (Hans A. Krebs) என்பவர் 1936-ஆம் ஆண்டு TCA-சுழற்சியின் பல்வேறு வேதிவினைகளைக் கண்டறிந்தார். எனவே, இது தற்போது கிரெப்ஸ் சுழற்சி (Krebs'cycle) என

அழைக்கப்படுகிறது. இது பைரூவிக் அமிலத்தின் ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயலை விவரிப்பதோடல்லாமல், வளர்சிதை மாற்றப்பாதைகள் பலவற்றின் முக்கிய பொதுக்கருத்துகளை விளக்க உதவக் கூடியதாகவும் உள்ளது. இந்தக் கண்டுபிடிப்பிற்காக இவருக்கு 1958ஆம் ஆண்டிற்கான மருத்துவம், வாழ்வியல் துறைகான நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

மைட்டோகாண்டரியத்தின் கூழ்மஊடகத்தில் நிகழும், காற்றுச் சுவாசச்செயலின் இரண்டாவது நிலை TCA-சுழற்சியாகும். கிளைகாலிசிஸ் மூலம் சைட்டோபிளாசத்தில் தோன்றிய பைரூவேட்டுகள் காற்றுச்சுவாசச் செயலின்போது மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் சவ்வுகள் வழியாக கடந்து அதன் கூழ்மஊடகத்தை அடையவேண்டும். வெளிச்சவ்வு நுண்துளைகள் பெற்றிருப்பதால் அவற்றின் வழியாகக் கடந்து செல்ல முடியும். ஆனால் உட்சவ்வில் இச்செயல் கடத்திப் புரதங்களின் உதவியால் நிகழ்கிறது. இது இருவிதங்களில் நிகழ்கிறது. (1) பைரூவேட் நேரடியாக அதற்குரிய கடத்திப்புரதத்தின் உதவியால் ஹைட்ராக்சில் (OH^-) அயனியைக் கூழ்மஊடகத்திலிருந்து பரிமாறிக் கொண்டு கடத்தப்படுதல் ஒரு விதம். (2) கிளைகாலிசிஸ் செயலின் போது தோன்றும் ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைரூவேட் (PEP) சில சமயம் கார்பன்சேர்க்கை (CO_2-ஏற்றம்) அடைந்து, ஆக்சலோஅசிட்டிக் அமிலம் (OAA) உருவாகிறது. இது பின்னர் ஆக்ஸிஜன்ஏற்றமடைந்து தோன்றும் மேலேட் அதற்குரிய கடத்தியின் உதவியால் தனிம ஃபாஸ்ஃபேட்டைக் (pi) கூழ்மஊடகத்திலிருந்து பரிமாற்றிக் கொண்டு கடத்தப்படுதல் மற்றொரு விதம். மைட்டோகாண்ட்ரியத்தினை அடைந்த மேலேட்டுகள் நேரடியாகப் பைரூவேட்டாக மாறியோ அல்லது OAA-வாக மாறியோ கிரெப் சுழற்சியினுள் நுழைகின்றன (படம்-33).



மைட்டோகாண்டரியத்தை வந்தடைந்த பைரூவேட், பைரூவேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கச் செயல் அடைந்து ஒரு மூலக்கூறு CO_2-வும் அசிடிக் அமிலமும் தோன்றுகின்றன. இச்செயலின்போது வெளியேற்றப்படும் ஹைட்ரஜன். NAD-ஐ ஹைட்ரஜனேற்றமடையச் செய்து $NADH_2$ உருவாகிறது.

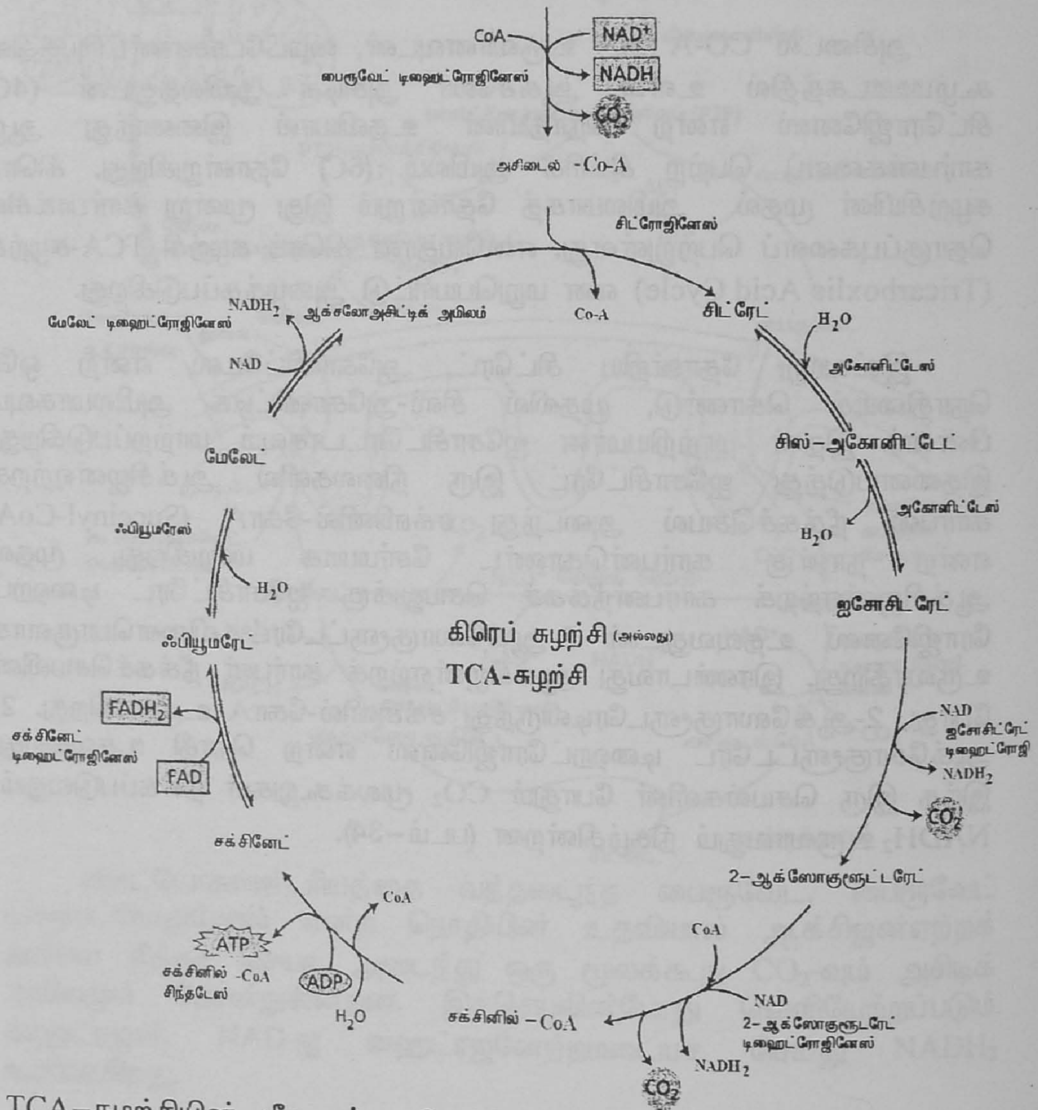
இதே நொதி அசிடிக் அமிலத்தைக் கந்தகம் பெற்ற இணைநொதி-Aயுடன் (CO-A) தயோஎஸ்டர் பிணைப்பால் இணைத்து அசிடைல் கோ-A (Acetyl CO-A) என்ற இரு கார்பன்கள் பெற்ற சேர்மம் தோன்ற உதவுகிறது. எனவே, இந்த நொதி கார்பன் நீக்கம், ஹைட்ரஜன் நீக்கம் (ஆக்சிஜன்ஏற்றம்), CO-A-யுடன் பிணைத்தல் ஆகிய மூன்று செயல்களுக்கு உதவக்கூடிய ஒரு பெரிய கூட்டுத்தொகுப்பாகத் திகழ்கிறது. இத்தொகுப்பில் நொதியுடன்

தையாமின் பைரோஃபாஸ்ஃபேட் (Thiamine Pyrophosphate (TPP), லிபோயிக் அமிலம் (Lipoic acid), NAD^+, பயோடின் (Biotin), CO-A ஆகிய அனைத்து இணைக்காரணிகளும் இணைந்துள்ளன.

அசிடைல் CO-A (2C) உருவானவுடன், மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் கூழ்மஊடகத்தில் உள்ள ஆக்சலோ அசிடிக் அமிலத்துடன் (4C) சிட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் இணைந்து ஆறு கார்பன்களைப் பெற்ற சிட்ரிக் அமிலம் (6C) தோன்றுகிறது. கிரெப் சுழற்சியின் முதல் அமிலமாகத் தோன்றும் இது மூன்று கார்பாக்சில் தொகுப்புகளைப் பெற்றுள்ளது. எனவேதான் கிரெப் சுழற்சி TCA-சுழற்சி (Tricarboxlic Acid Cycle) என மறுபெயரிட்டு அழைக்கப்படுகிறது.

இவ்வாறு தோன்றிய சிட்ரேட், அகோனிட்டேஸ் என்ற ஒரே நொதியைக் கொண்டு, முதலில் சிஸ்-அகோனிட்டிக் அமிலமாகவும் பின்னர் இதன் மாற்றியமான ஐசோசிட்ரேட்டாகவும் மாற்றப்படுகிறது. இதனையடுத்து ஐசோசிட்ரேட் இரு நிலைகளில் ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கச்செயல் அடைந்து சக்ஸினில்-கோA (Succinyl-CoA) என்ற நான்கு கார்பன்கொண்ட சேர்மமாக மாறுகிறது. முதல் ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன்நீக்கச் செயலுக்கு ஐசோசிட்ரேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் உதவுவதுடன் 2-ஆக்ஸோகுளூட்டரேட் விளைபொருளாக உருவாகிறது. இரண்டாவது ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கச்செயலின் போது, 2-ஆக்ஸோகுளூடரேடிலிருந்து சக்சினில்-கோA உருவாகிறது. 2-ஆக்சோகுளூட்டரேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது. இந்த இரு செயல்களின் போதும் CO_2 மூலக்கூறுகள் நீக்கப்படுவதும், $NADH_2$ உருவாவதும் நிகழ்கின்றன (படம்–34).

படம்–34



TCA–சுழற்சியின் மீதமுள்ள நிகழ்ச்சிகளின் மூலம் சக்சினைல்-கோA மீண்டும் OAA-வாக மாற்றப்படுகிறது. OAA மீண்டும் உயிர்பிக்கப்படுவதால் TCA–சுழற்சி தொடர்ந்து நிகழமுடிகிறது. முதலில் சக்சினைல்-கோA-யின் தையோஎஸ்டர் பிணைப்பில் உள்ள பிணை ஆற்றல் ADP-யுடன் தனிம ஃபாஸ்ஃபேட்டை (Pi) இணைந்து ATP மூலக்கூறு உருவாகிறது. இதற்கு தள ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கை (Substrate phosphorylation) என்று பெயர். சக்சினைல் கோ-A சிந்தடேஸ்

என்ற நொதியின் உதவியால் நிகழும் இச்செயலின் விளைவாகச் சக்சினேட் உருவாகிறது. சக்சினேட் பின்னர் சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியின்உதவியால் ஃபியூமரேட்டாக மாறுகிறது. இந்த அக்சிஜன்ஏற்றச் செயலின் போது மட்டும் ஹைட்ரஜனை NAD ஏற்காமல், டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதியுடன் சகப்பிணைப்புற்றிருக்கும் FAD என்ற இணை நொதி ஏற்றுக்கொள்வதால் $FADH_2$ உருவாகிறது. இந்நொதி மட்டுமே மைட்டோகாண்ட்ரிய உட்சவ்வுடன் இணைந்திருக்கும் நொதியாகும். அத்துடன் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் செயலில் பங்காற்றும் ஒருங்கு-II-இன் பகுதிக்கூறாக இந்நொதி காணப்படுகிறது. எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் செயலின் போது இந்த $FADH_2$ இரு புரோட்டான்களாகவும் (H+), இரு எலக்ட்ரான்களாகவும் அயனியாக்கம் அடைகிறது.

TCA-சுழற்சின் முடிவாக நிகழும் இரு நிகழ்ச்சிகளில் ஒன்று ஃபியூமரேட்டுடன் நீர் சேர்க்கப்பட்டு மேலேட் தோன்றுவதாகும். மேலேட் அக்சிஜன்ஏற்றமடைந்து OAA உயிர்ப்பிக்கப்படுவது இரண்டாவதாகும். இதில் முதல் நிகழ்ச்சிக்கு ஃபியூமரேஸ் என்ற நொதியும், இரண்டாவது நிகழ்ச்சிக்கு மேலேட்டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியும் உதவுகின்றன. மேலேட் அக்சிஜன்ஏற்றம் அடைதல் இறுதி அக்சிஜன்ஏற்றச் செயலாகும். இந்தச் செயலின் போதும் ஒரு $NADH_2$ உருவாக்கப்படுகிறது.

மைட்டோகாண்ட்ரியத்தினுள், மூன்று கார்பன்களைப் பெற்ற பைரூவேட் மூலக்கூறு TCA சுழற்சியின் போது முழுமையாக அக்சிஜன்ஏற்றம் அடைந்து மூன்று CO_2-கள் வெளியேற்றப்படுகின்றன. அத்துடன் ஐந்து நிலைகளில் அக்சிஜன்ஏற்றச் செயல்கள் நிகழ்ந்து வெளியேறும் தனி ஆற்றல்கள், NAD, FAD ஆகிய இணை நொதிகள் ஹைட்ரஜனேற்றமடைய உதவுகின்றன. இதன் விளைவால் நான்கு $NADH_2$-களும் ஒரு $FADH_2$-வும் தோன்றுகின்றன. இவைதவிர தள ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கை மூலம் ஒரு ATP நேரடியாக உருவாகக்ப்படுகிறது.

கிளைகாலிசிஸ் செயலினால் ஒரு மூலக்கூறு குளூகோஸ் சிதையும் போது இரு பைரூவேட்டுகள் தோன்றுகின்றன. இவை இரண்டும் கிரெப்சுழற்சியடையும் போது, ஆறு CO_2 மூலக்கூறுகள், 8 $NADH_2$-கள், $2FADH_2$-கள், 2ATP-கள் விளைபொருட்களாக உருவாகின்றன. கிரெப் சுழற்சிக்கு உதவும் நொதிகளில் சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் தவிர மற்ற அனைத்தும் மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் சூழ்மஊடகத்தில் காணப்படகின்றன.

சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் மட்டும் மைட்டோகாண்ட்ரியச் சவ்வில் முழுமைப்புரதமாகக் காணப்படுகிறது.

5.2.1. கிரெப் சுழற்சியின் முக்கியத்துவம்

1. தாவரங்களின் பல்வேறு வளர்சிதை மாற்றச் சேர்மங்களின் வளர்சிதைச் செயல்களுடன் இது தொடர்பு கொண்டுள்ளது. இச்சேர்மங்களில் அமினோ அமிலங்கள், கொழுப்பு அமிலங்கள் மற்றும் இவற்றுடன் உறவு கொண்ட சேர்மங்களான பார்ஃபைரின்கள், ஐசோபிரினாய்டுகள் ஆகியவை குறிப்பிடத்தக்கவை.

2. ரெடாக்ஸ் சமச்சேர்மங்களான $NADH_2$, $FADH_2$ ஆகியவற்றின் அக்சிஜன்ஏற்ற த்தால் உருவாகும் ATP-கள், தள ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கை மூலம் நேரடியாகத் தோன்றும் ATP-கள் ஆகியவை தாவரங்களுக்கு உயிர்ம ஆற்றலை வழங்கும் மூலக்கூறுகளாகும். எனவே, கிரெப் சுழற்சி உயிர்ம ஆற்றல் தோன்ற வழிவகுக்கும் ஒரு மிக முக்கியச் செயலாகும்.

3. இச்சுழற்சியின் இடையே உருவாகும் ஆல்ஃபா கீட்டோ குளூட்டரேட், நைட்ரஜன் வளர்சிதை மாற்றத்திற்குத் தேவையான ஒரு முக்கிய சேர்மமாகும். இது அமினோதொகுப்பை ஏற்று அமோனியச்சேர்க்கை அடையும் போது குளூட்டமேட் என்ற அமினோ அமிலம் உருவாகிறது. இந்த அமினோ அமிலமே அமோனியமாற்றுச்சேர்க்கை மூலம் பல்வேறு கரிம அமிலங்களை அமினோ அமிலங்களாக மாற்ற உதவுகிறது. எனவே, கிரெப் வட்டத்தின் விளைப்பொருளான ஆல்ஃபா கீட்டோகுளூட்டரேட் இல்லையெனில் புரதங்களின் அடிப்படை அமைப்புக்கூறுகளான அமினோ அமிலங்கள் உருவாகிட முடியாது.

4. சைட்டோகுரோம்கள், ஹீமோகுளோபின் போன்ற முக்கியச் சேர்மங்களுக்கான அமைப்புக் கூறுகளான பார்ஃபைரின்களை உற்பத்தி செய்ய கிரெப் வட்டத்தில் தோன்றும் இடைப் பொருளான சக்சினைல்-கோA பெரிதும் உதவுகிறது.

5. கிரெப்வட்டத்தின் மற்றொரு இடைப்பொருளான அசிடைல்-கோA, கொழுப்புச் சேர்மங்களின் அமைப்புக் கூறுகளான கொழுப்பு அமிலங்களின் உற்பத்திக்கு உதவும் அடிப்படைச் சேர்மமாகும்.

எனவே, காற்று சுவாசிகளாகத் திகழும் அனைத்து உயிரிகளின் மிக முக்கியமான முதல்நிலை வேதிச் சேர்மங்களையும், தாவரங்களில் காணப்படும் பல்வேறு இரண்டாம் நிலை வேதிச்சேர்மங்களையும் உருவாக்க உதவும் இன்றியமையா உயிர்மச் செய்லாக இந்தக் கிரெப் சுழற்சி திகழ்வது, அதன் தனிச்சிறப்பாகும்.

5.3. மைட்டோகாண்ட்ரியத்தில் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் செயல் (Electron Transport Mechanism in Mitochondrion)

உயிர்மச் செயல்கள் பலவற்றை நிகழ்த்த ATP-களில் உள்ள ஃபாஸ்ஃபேட்சேர்க்கை வழி ஆற்றலையே உயிரினங்களின் செல்கள் பயன்படுத்திக் கொள்கின்றன. எனவே, கிரெப் சுழற்சியின்போது $NADH_2$, $FADH_2$ ஆகியவற்றின் மூலமாக கையகப்படுத்தப்பட்ட எலக்ட்ரான்களில் உள்ள உயர் ஆற்றல், ADP-களை ATP-களாக மாற்றப்பயன்படுதல் வேண்டும். இந்தச் செயல் ஆக்சிஜன் சர்ந்து நடைபெறும் ஒரு செயலாகும். இது மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் உட்சவ்வில் நிகழ்கிறது. இச்சவ்வில் வரிசையாக அமைந்த எலக்ட்ரான் ஏற்பிகளின் உதவியைக் கொண்டு இச்செயல் நிகழ்கிறது.

ஒரு மூலக்கூறு குளூகோஸ் காற்றுச் சுவாசச் செயலின் மூலம் ஆக்ஸிஜன்ஏற்றமடையும் போது சைட்டோபிளாசத்தில் நிகழும் கிளைகாலிசிஸ் செயல் வழியாக இரண்டு மூலக்கூறு $NADH_2$–களும், மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் கூழ்மஊடகத்தில் நிகழும் கிரெப் சுழற்சியின் மூலம் எட்டு மூலக்கூறு $NADH_2$-களும், இரண்டு மூலக்கூறு $FADH_2$-களும் உருவாகின்றன. இவை அனைத்தும் ஆக்சிஜன்ஏற்றமடைந்து (ஹைட்ரஜன் நீக்கமடைந்து) NAD, FAD ஆகிய இணை நொதிகள் திரும்ப கிடைக்கவில்லையெனில், முழுச் சுவாசச் செயலும் நின்றுவிட நேரிடும். எனவே, இச்செயல் APT-களின்உற்பத்திக்காக $NADH_2$, $FADH_2$ ஆகியவற்றிலிருந்து உயர் ஆற்றல் எலக்ட்ரான்களை விடுவித்துத் தொடர் ஓட்டமடையச் செய்வதோடல்லாமல், சுவாசச் செயலின் தொடர் நிகழ்விற்கும் உதவுகிறது. இச்செயலின்போது நிகழும் எலக்ட்ரான் ஓட்டத்தின்முடிவில், அதனை ஏற்கும் ஏற்பியாக ஆக்ஸிஜன் திகழ்கிறது. எனவே, எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் வினை $NADH_2$, $FADH_2$ ஆகியவற்றிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை ஆக்ஸிஜன் நோக்கி ஓட்டமடையச் செய்யத் தூண்டும் ஒரு செயலாகத் திகழ்கிறது.

மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் உட்சவ்வில் காணப்படும் I முதல் IV வரை எண்களிடப்பட்ட, நான்கு தொகுப்புகளின் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் கடத்தப்படுகின்றன. பல்புரதத் தொகுப்புகளாகத் திகழும் இவை தவிர ATP-சிந்தேஸ் என்ற ஐந்தாவது தொகுப்பும்

இதற்கு உதவுகிறது. இவையாவும் சவ்வின் முழுமைப் புரதங்களாகக் காணப்படுகின்றன.

NADH-டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி தொகுப்பு I-ஐ அமைக்கிறது. மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் கூழ்மஊடகத்தில் உருவான $NADH_2$-களை இந்நொதி ஆக்சிஜன்ஏற்றமடையச் செய்கிறது. இதன் விளைவால் உருவாகும் H^+, எலக்ட்ரான்கள் ஆகியவை, தொகுப்பு I-இல் உள்ள எலக்ட்ரான் ஏற்பிகளான ஃபிளேவின் மோனோ நியூக்ளியோடைடு, பல்வேறு வகையான இரும்புகந்தகச் சேர்மங்கள் ஆகியவற்றின் வழியாக யூபிகுவினோன் என்ற எலக்ட்ரான் ஏற்பிக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. இவற்றுள் யூபிகுவினோன்கள் சவ்வின் புரதம் எதனுடனும் இணைந்திராது சவ்வின் உள்ளே தன்னிச்சையாக இடம்பெயரும் எலக்ட்ரான் ஏற்பிகளாகும்.

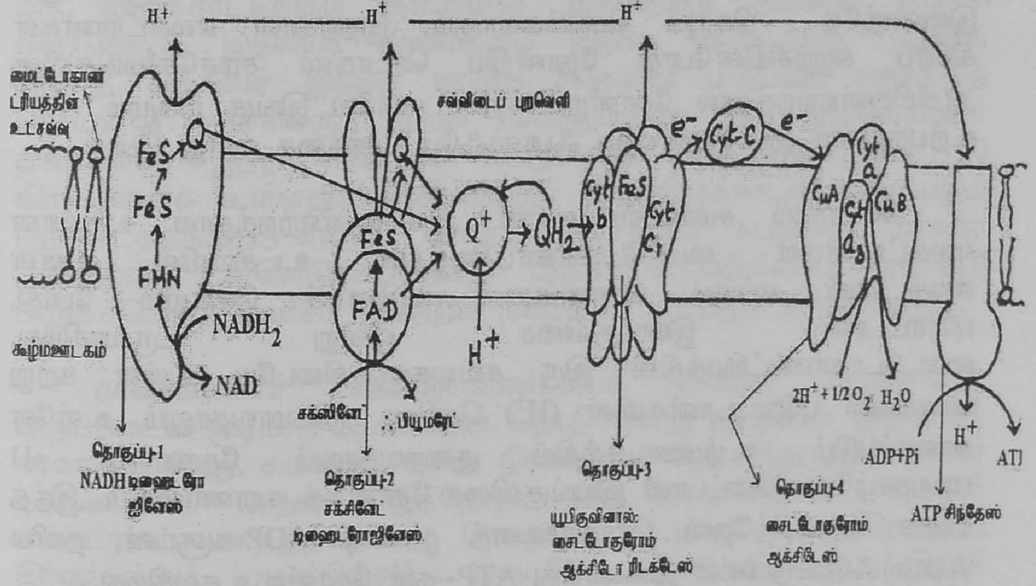
தொகுப்பு–II-ஐ அமைப்பது, TCA-சுழற்சியில் பங்கு பெறும் சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதியாகும். இந்நொதியின் உதவியால் தளப்பொருளிலிருந்து (சக்சினேட்டுகள்) வெளியேறும் H_2-கள் இத்தொகுப்பில் உள்ள FAD-யால் (ஃபிளேவின் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைடு) ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டு $FADH_2$ உருவாகிறது. இந்த $FADH_2$ ஆக்சிஜன்ஏற்றமடையும் போது வெளிப்படும் H^+, எலக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றில், H^+ அயனிகள் சவ்வுப்புறவெளியை அடைகின்றன. எலக்ட்ரான்கள் ததொகுப்பு–II-இல் உள்ள இரும்பு–கந்தகம் சேர்மங்கள் வழியாக யூபிகுவினோன்களுக்கு அனுப்பப்படுகின்றன.

இந்த இரு தொகுப்புகளின் மூலம் எலக்ட்ரான்களை ஏற்ற யூபிகொய்னோன்கள், கூழ்மஉடகத்திலிருந்து H^+ அயனிகளை எடுத்துக் குறைதலுற்ற யூபிகுவினோன்களால் (QH_2) ஆன சேமக்கலம் சவ்வினுள் உருவாகிறது. இந்தச் சேமக்கலத்தில் உள்ள யூபிகுவினோன்கள் ஆக்சிஜன்ஏற்றமடையும் போது உருவாகும் H^+, எலக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றில் H^+ அயனிகள் சவ்வுப்புறவெளியை அடைகின்றன. எலக்ட்ரான்கள் தொகுப்பு-III-இல் உள்ள எலக்ட்ரான ஏற்பிகளான சைட்டோகுரோம்-B இரும்புக் கந்தகச் சேர்மம், சைட்டோகுரோம் C1 ஆகியவற்றின் வழியாகச் சவ்வின் பரப்புப் புரதமாகத் திகழும் சைட்டோகுரோம்–C–க்கு அனுப்பப்டுகிறது (படம்-35).

இங்கிருந்து எலக்ட்ரான்கள் தொகுப்பு IV-க்குச் செல்கின்றன. இத்தொகுப்பு சைட்டோடுரோம் ஆக்சிடேஸ் என்ற நொதியைப் பெற்றுள்ளது. இங்குள்ள எலக்ட்ரான் ஏற்பிகளான, Cu-A, Cu-B என்ற

தாமிர சேர்மங்கள், சைட்டோகுரோம் a, a_3 ஆகியவற்றின் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் பயணப்பட்டு இறுதியில் O_2-வுடன் சேர்ந்து நீர் மூலக்கூறு உருவாகிறது. எனவே, இங்கு நிகழும் எலட்ரான் பயணம் இறுதிப் பயணமாக இருப்பதால் இத்தொகுப்பினை அமைக்கும் நொதி முடிவுநிலை ஆக்சிடேஸ் எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

படம்-35



இவ்வாறு நான்கு தொகுப்புகளின் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் பயணிக்கும் போது மைட்டோகாண்ட்ரிய சவ்வின் புறவெளிக்கும், கூழ்மஊடகத்திற்குமிடையே H^+ அயனிச் செறிவு வாட்டம் ஏற்பட்டு புரோட்டான் இயங்கு விசை ஒன்று உருவாகிறது. புரோட்டான்கள் இறுதித் தொகுப்பான ATP-சிந்தேஸ் என்ற ஐந்தாவது தொகுப்பின் வழியாக கூழ்மஊடகத்தை அடைய முயற்சிக்கும் போது, இந்தப் புரோட்டான் இயங்கு விசையைப் பயன்படுத்தி, இந்நொதி ADP-களுடன் தனிம பாஸ்ஃபேட்டுகளை இணைத்து ATP-களை உருவாக்குகிறது. பீட்டர் மிட்ச்செல் என்பவர், இவ்வாறு ATP-கள் உருவாக்கப்படுவதை வேதிய ஆஸ்மாசிஸ் கோட்பாடு என்ற கோட்பாடாக வெளியிட்டுள்ளார். இங்கு உருவாகும் ATP-கள், $NADH_2$, $FADH_2$ ஆகியவற்றின் ஆக்சிஜன்ஏற்றத்தால் தோன்றுகின்ற காரணத்தால் இச்செயல் ஆக்சிஜன்ஏற்றஃபாஸ்ஃபேட் (oxidative phosphorylation) சேர்க்கை என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

5.4. ஆக்சிஜன்ஏற்ற ஃபாஸ்ஃபேட்சேர்க்கை (Oxidative phosphorylation)

மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் உட்சவ்வில் நான்கு தொகுப்புகளாகக் காணப்படும் முழுமைப்புரதங்கள் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் பயணிப்பதும், அதே சவ்வில் முழுமைப்புரதமாகக் காணப்படும் ATP-சிந்தேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் ATP-கள் உருவாவதும் இணைந்தே நிகழும் செயல்களாகும். இதற்கான எலக்ட்ரான்கள் கிரெப் சுழற்சியின்போது தோன்றிய ரெடாக்ஸ் சமச்சேர்மங்களின் ஆக்சிஜன்ஏற்றத்தால் தோன்றுகின்றன. எனவே இங்கு நிகழும் ATP-உற்பத்திக்கு ஆக்சிஜன்ஏற்ற ஃபாஸ்ஃபேட்சேர்க்கை என்று பெயர்.

ரெடாக்ஸ் சமச்சேர்மங்களின் ஆக்சிஜன்ஏற்றத்தால் உருவான எலக்ட்ரான்கள் மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் உட்சவ்வில் உள்ள எலக்ட்ரான் ஏற்கும் தொகுப்புகள் வழியாகச் செல்லும் போது, புரோட்டான் இயங்குவிசை ஒன்று உருவாகிறது. மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் இரு சவ்வுகளுக்கிடையே உள்ள சுற்று வெளியில் புரோட்டான்களின் (H^+) செறிவு அதிகமாவதாலும், உள்ளே காணப்படும் கூழ்மஊடகத்தில் குறைவதாலும் தோன்றும் pH ஏற்றதாழ்வே புரோட்டான் இயங்குவிசை தோன்றக் காரணமாகும். இந்த விசை ATP-சிந்தேஸ் நொதியினைத் தூண்டி ADP-களுடன், தனிம ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளை இணைத்து ATP–கள் தோன்ற உதவுகிறது.

உட்சவ்வில் காணப்படும் எலக்ட்ரான் ஏற்கும் தொகுப்புகள் நான்கும் செயல்படும்போது, புரோட்டான் இயங்கு-விசையினைக் கொண்டு ATP-சிந்தேஸ் மூன்று ATP-களை உருவாக்க முடியும். ஒரு $NADH_2$ ஆக்சிஜன்ஏற்கப்பட்டு தோன்றும் எலக்ட்ரான்களின் பயணத்தின்போது நான்கு தொகுப்புகளும் செயல்படுவதால் மூன்று ATP-கள் உருவாகின்றன. இதுவே $FADH_2$ ஆக இருப்பின், மூன்று தொகுப்புகளே செயல்பட்டு இரண்டு ATP-கள் மட்டுமே உருவாகின்றன.

மைட்டோகாண்ட்ரியத்திலுள்ள ATP-சிந்தேஸ் அமைப்பிலும் செயல்பாட்டிலும் பசுங்கணிகத்தின் தைலகாய்டு சவ்வில் உள்ள ATP-சிந்தேசினை ஒத்திருக்கிறது. ஆனால், ஒளி ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கையைச் செய்யாது ஆக்சிஜன்ஏற்ற ஃபாஸ்ஃபேட்சேர்க்கையைச் செய்கிறது.

5.5. சயனைடு பாதிக்கப்பெறா சுவாசம் (Cyanide-Resistant Respiration)

திறம்பட சுவாசித்துக் கொண்டிருக்கும் விலங்கினத் திசுவிற்கு ஒரு மில்லிமோல் அளவு சயனைடு அளிக்கும் போது அதன் சைட்டோகுரோம் ஆக்சிடேஸ் (முடிவு நிலை ஆக்சிடேஸ்) நொதியின் செயல் தடுக்கப்பட்டு தொடக்கத்திலிருந்த சுவாசச் செயலின் அளவில், ஒரு விழுக்காட்டிற்கும் குறைவான அளவிற்குத் திடீரென வீழ்ச்சி ஏற்படுகிறது. இதனால் விலங்கினம் இறக்க நேரிடுகிறது. ஆனால் தாவரத் திசுக்கள் இதற்கு மாறாக சயனைடு பாதிப்பை எதிர்த்துத் தொடர்ந்து சுவாசிக்கும் திறன் பெற்றுள்ளன. சில தாவரங்களின் திசுக்களில் இந்த எதிர்ப்புக் கட்டுப்பாடு வீதம் 10 முதல் 20 விழுக்காடாக உள்ளது. ஒருசிலவற்றில் 100 விழுக்காடாக இருப்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது. எனவே தாவரத் திசுக்களில் சயனைடு நச்சால் ஆக்சிஜன் உள்ளெடுக்கப்படுவது பாதிக்கப்படுவதில்லை. சயனைடு பாதிக்கபெறாத சுவாசம் இவற்றில் நிகழ்வதே இதற்குக் காரணமாகும்.

தாவரங்களின் மைட்ரோகாண்ட்ரியச் சவ்வில் சயனைடால் பாதிப்படைய முடியாத ஆக்சிடேஸ் நொதி ஒன்று முழுமைப் புரதமாகக் காணப்படுகிறது. சயனைடு உள்ள நிலையிலும் தொடர்ந்து ஆக்சிஜனை உள்ளெடுக்க உதவும் இந்நொதி, மைட்டோகாண்ட்ரிய சவ்வில் எலக்ட்ரான் மாற்றுத்தொடர் செயலுக்கு உதவும், புரதத்தொகுப்பு இரண்டிற்கும் மூன்றிற்கும் இடையே காணப்படுகிறது. இதன் உதவியால் நிகழும் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர்செயல் மாற்று ஆக்சிஜன்ஏற்ற வழிப்பாதை எனப்படுகிறது.

இந்தச் செயலின்போது எலட்ரான்கள் யூபிகுவினோன் மட்டத்திலேயே ஆக்சிஜனுக்கு அனுப்பபட்டு அதனைக் குறைதலுறச் செய்வதால் நீர் மூலக்கூறு தோன்றிவிடுகிறது. இங்கு தொகுப்புகள் மூன்று, நான்கின் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் கடத்தப்படுதல் தவிர்க்கப் படுவதால், ATP-சிந்தேசின் உதவியால், ATP-கள் உருவாவதில்லை. எனவே ATP-களில் சேமிக்கப்பட வேண்டிய தனி ஆற்றல் இந்த மாற்று ஆக்சிஜனேற்ற வழிப்பாதையில் வெப்ப ஆற்றலாக இழக்கப்படுகிறது.

தாவரங்களில் இந்த மாற்று ஆக்சிஜன்ஏற்ற வழிப்பாதைக்கு உதவும் ஆக்சிடேஸ் நொதி 32 கிலோ டால்டன் எடையுடைய முழுமைப்புரதத்தால் ஆனது. இது, இரு ஒத்த பாலிபெப்டைடுகளால் ஆன புரதமாகும். இதில் காணப்படும் சல்ஃபைடிரில் டைசல்ஃபைடு (Sulphidryl-disulphide) அமைப்பு இந்தச் சுவாசச் செயலை ஒழுங்குபடுத்தும் அமைப்பாக உள்ளது. ஆக்சிஜன்ஏற்றம்-குறைதல் நிலைகளை மீள்வினையாக நிகழ்த்தும் தகுதி படைத்த இந்த அமைப்பு

ஆக்சிஜன்ஏற்றப்பட்ட நிலையைவிட (-S-S-) குறைதலுற்ற நிலையில் (-SH-SH-) அதிக செயல்படு திறனைப் பெற்றுள்ளது.

சயனைடு நச்சு உள்ள நிலையில் யூபிகுவினோன் சேமக்கலத்தில், QH_2 அளவு பூரிதநிலைக்குச் செல்கிறது. இந்நிலை மாற்று ஆக்சிஜன் ஏற்ற வழிப்பாதைக்கு உதவும் புரதத்தின் செயலூக்கத் திறனை அதிகரிக்க உதவுகிறது. இதன் காரணமாக மாற்று ஆக்சிஜன்ஏற்ற வழிப்பாதை நிகழ்வது தூண்டப்படுவதோடு, சயனைடால் ஏற்படும் நச்சு விளைவும் தவிர்க்கப்படுகிறது. வளர்ச்சி, சேமிப்பு, ATP உற்பத்தி ஆகியவற்றின் தேவைக்கு அதிகமான அளவில் சுவாசத் தளப் பொருட்களின் செறிவு மிகைப்படும் போதும், QH_2-வின் பூரிதநிலை ஏற்பட்டு மாற்று ஆக்சிஜன்ஏற்ற வழிப்பாதை நிகழ்வதாக அண்மைக் காலத்தில் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. எனவே, இந்த மாற்று ஆக்சிஜன்ஏற்ற வழிப்பாதையை உயராற்றல் பாய்வுத்தகுதியின் அறிகுறியாகவும் கொள்ளலாம்.

ஆற்றல் வெளிப்படும் நிலையின் அடிப்படையில் நோக்கும் போது இது ஒரு தேவையற்ற செயலாகக் கருதத்தோன்றும். இருப்பினும் இது மிகையான குளிர்ச்சி, வறட்சி, ஆஸ்மாசிஸ் ஆகியவற்றின் நெருக்கடி நிலைகளை எதிர்கொண்டு சமாளிக்க உதவும் செயலாக விளங்குவது குறிப்பிடத்தக்கது. இந்த நெருக்கடி நிலைகளின் போது ஏற்படும் QH_2-வின் பூரிதநிலையைத் தவிர்க்க இச்செயல் உதவுகிறது. இல்லையெனில் அதிக அழிவுத்திறன் மிக்க செயலூக்க ஆக்சிஜன் இனங்களாகிய சூப்பர் ஆக்சைடுகள், ஹைட்ராக்ஸில் அயனிகள் தோன்றிவிடும். இவை தாவர உறுப்புகளில் செல்களின் அழிவை ஏற்படுத்தி, நிரந்தரக் காயங்களை உண்டாக்கி விடுகின்றன. எனவே, இந்த மாற்று ஆக்சிஜன்ஏற்ற வழிப்பாதை இந்நெருக்கடி நிலைகளின் போது அதனை எதிர் கொண்டு தாவரம் உயிர்வாழ உதவும் ஒரு செயலாகும்.

5.6 பெண்டோஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் வழிப்பாதை
(Pentose Phosphate Pathway-PPP)

டைட்டோபிளாசத்தில் குளூக்கோஸ் ஆக்சிஜன்ஏற்றம் கிளை காலிசிஸ் செயல் மூலம்மட்டுமே நிகழ்கிறது என வெகு காலமாகக் கருதப்பட்டு வந்தது. ஆனால் வார்பர்க், டிக்சென் ஆகியோர் (Warburg and Dicksen) பெண்டோஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் வழிப்பாதை மூலமும் இந்தச்செயல் நிகழ்கிறது எனப் பின்னர் கண்டறிந்தனர். இதற்கான நொதிகளும் சைட்டோபிளாசத்தில் காணப்படுகின்றன.

கிளைகாலிசிஸ் செயலின் விளைபொருட்களான ஃபிரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட், G-3-P-ஆகியவை உருவாவதற்கு முன்பு, ஐந்து கர்பன்களைப்பெற்ற பெண்டோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் சில உருவாக்கப்படுவதைக் கண்டறிந்து இவ்வழிப்பாதைக்கு இவர்கள் இப்பெயரிட்டனர். அத்துடன் இதன் இறுதி விளைபொருட்களில் ஒன்றாகிய ஃபிரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள், ஆரம்பத்தளப் பொருளான குளுக்கோசைப்போன்று ஆறு கர்பன்கள் கொண்ட சர்க்கரைகளாக இருப்பதால் இவ்வழிப்பாதை ஹெக்சோஸ் மோனோஃபாஸ்ஃபேட் திருப்பு ஒட்டம் (hexose monophosphate shunt) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

இதன் முதல் இரு கிரியைகள் ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயல்களாகும். இவற்றுள் இரண்டாவது ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயலின்போது கார்பன் நீக்கமும் நிகழ்வதால் இதற்கு ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கவினை என்றும் பெயர் உண்டு. இவ்விரு செயல்களால் ஆறு கார்பன்கள் கொண்ட குளுகோஸ் மூலக்கூறுகள் ஐந்து கார்பன்களைப்பெற்ற ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாக மாறுகின்றன.

இரு ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயல்களின்போதும் நீக்கப்படும் ஹைட்ரஜன்கள் NADP-ஆல் (ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடைந்த நிக்கோடினமைடு அடினைன் டைநியூக்ளியோடைடு) ஏற்கப்பட்டு $NADPH_2$-கள் உருவாகின்றன. ஆனால் கிளைகாலிசிஸ் செயலின் ஆக்சிஜன்ஏற்றத்தின் போது ஹைட்ரஜன் ஏற்பியாகத் திகழ்வது ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கை அடையாத NAD-கள் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

குளுக்கோஸ் மூலக்கூறுகள் முதலாவது ஆக்சிஜன்ஏற்றம் அடைவதற்கு முன்பு குளுகோஸ் ஹெக்சோகைனேஸ் என்ற நொதியினால், ATP-யைப் பயன்படுத்தி ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடைந்த குளுகோஸ்-6- ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் உருவாகின்றன. பின்னர் இவை முதலாவது ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயல் மூலம் குளுகோனேட்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாக மாறுகின்றன.

குளுகோனேட்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் பின்னர் இரண்டாவதாக நிகழும் ஆக்சிஜன்ஏற்றக் கார்பன் நீக்கவினை மூலம் ஐந்து கார்பன்களைப் பெற்ற ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாக மாறுகின்றன. இதற்கு ஃபாஸ்போ–குளுகோனேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது.

மீதமுள்ள வினைகள் அனைத்தும், இந்தப் பெண்டோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளிலிருந்து, G-3-P-களையும், ஃபிரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளையும் உருவாக்க உதவுகின்றன. இவை கிளைகாலிசில் செயலின் போது உருவாகும் விளைப்பொருட்கள் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

எடுத்துக்காட்டாக, ஆறு குளுகோஸ் மூலக்கூறுகள் இரு ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயல்கள் மூலம் உருவாக்கும் ஆறு மூலக்கூறு ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் கீழ்க்கண்ட வினைகள் மூலம் இதை நிகழ்த்துகின்றன:

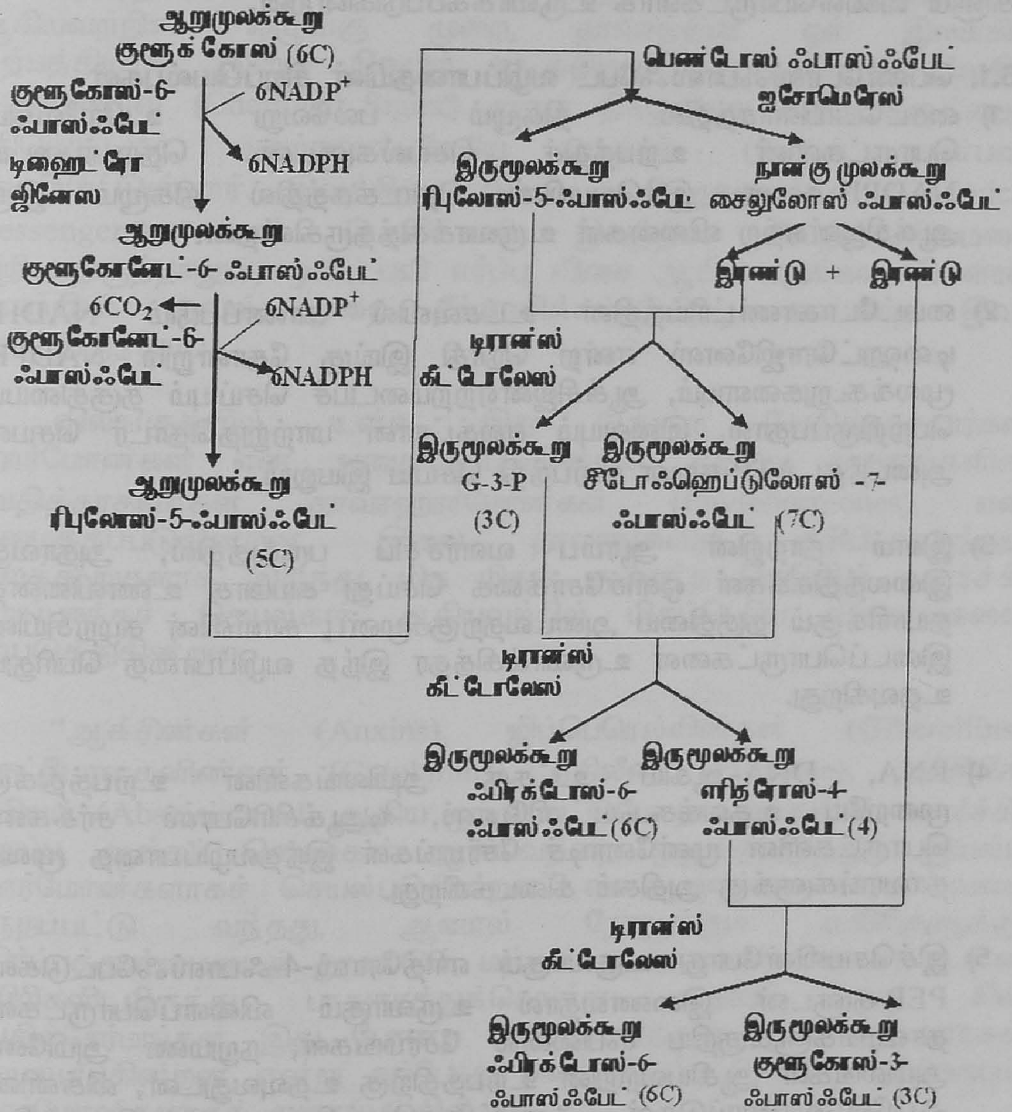
1. ஆறு மூலக்கூறு ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளில் நான்கு மூலக்கூறுகள், இவற்றின் ஒரு மாற்றியமான சைலுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாக மாற்றப்படுகின்றன. மீதமுள்ள இரண்டு மூலக்கூறுகள் மற்றொரு மாற்றியமான ரைபோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாக மாற்றப்படுகின்றன. இவ்விரு செயல்களும் பெண்டோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் ஐசோமெரேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் நிகழ்கின்றன.

2. மேற்கூறிய உயிர்வேதிச் செயல்களினால் தோன்றிய பெண்டோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளில் சைலுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகள் இரண்டு, ரிபோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்கள் இரண்டுடன் தனத்தனியே இணைந்து, மொத்தமாக இரண்டு G-3-P மூலக்கூறுகள், இரண்டு சீடோஃஹெப்டுலோஸ்-7-ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகள் (ஏழு கார்பன்கள் பெற்றவை) ஆகியவை உருவாகின்றன. இதற்கு டிரான்ஸ்கீட்டோலேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது (படம்-36).

3. டிரான்ஸ்கீட்டோலேஸ் என்ற அதே நொதியைக் கொண்டு இந்த இரு விளைபொருட்களும் ஒன்றோடொன்று இணைந்து, இரண்டு ஃபிரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறுகள் (ஆறு கார்பன்கள் கொண்டவை), இரண்டு எரித்ரோஸ்-4-ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக் கூறுகள் (நான்கு கார்பன்கள் கொண்டவை) ஆகியவை தோன்றுகின்றன.

படம்-36

பெண்டோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் வழிப்பாதையின் திட்ட வரைவு



4. இவற்றுள் எரித்ரோஸ-4-ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகள் இரண்டு மட்டும், தொடக்கத்தில் உருவான ஆறு மூலக்கூறு சைலுலோஸ-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளில் நான்கு போக மீதமிருக்கும் இரண்டு மூலக்கூறுகளுடன் இணைந்து இரண்டு ஃபிரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகளையும், இரண்டு G-3-P-களையும் உருவாக்குகின்றன.

மொத்தத்தில் பெண்டோஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் வழிப்பாதையின் முடிவாக நான்கு ஃபிரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகளும், இரண்டு G-3-P-களும் விளைபொருட்களாக உருவாக்கப்படுகின்றன.

5.6.1. பெண்டோஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் வழிப்பாதையின் சிறப்பியல்புகள்

1) சைட்டோபிளாசத்தில் நிகழும் பல்வேறு உயிர்வேதிப் பொருட்களின் உற்பத்திச் செயல்களுடன் தொடர்புடைய NADPH-களை, இச்செயலின் தொடக்கத்தில் நிகழும் இரு ஆக்சிஜன்ஏற்ற வினைகள் உருவாக்கித்தருகின்றன.

2) மைட்டோகாண்ட்ரியத்தின் உட்சவ்வில் காணப்படும் NADH-டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி இங்கு தோன்றும் NADPH மூலக்கூறுகளையும், ஆக்சிஜன்ஏற்றமடையச் செய்யும் தகுதியைப் பெற்றிருப்பதால், இவையும் எலக்ட்ரான் மாற்றுத்தொடர் செயல் அடைந்து ATP-களை உற்பத்தி செய்ய இயலும்.

3) இளம் நாற்றின் ஆரம்ப வளர்ச்சிப் பருவத்தில், அதாவது இலைத்திசுக்கள் ஒளிச்சேர்க்கை செய்து சுயமாக உணவினைத் தயாரிக்கும் தகுதியை அடைவதற்கு முன்பு, கால்வின் சுழற்சியின் இடைப்பொருட்களை உருவாக்கித்தர இந்த வழிப்பாதை பெரிதும் உதவுகிறது.

4) RNA, DNA-ஆகிய உட்கரு அமிலங்களின் உற்பத்திக்கு முறையே உதவக்கூடிய ரிபோஸ், டிஆக்சிரிபோஸ் சர்க்கரை பொருட்களின் முன்னோடிச் சேர்மங்கள் இந்தவழிப்பாதை மூலம் தாவரங்களுக்கு அதிகம் கிடைக்கிறது.

5) இச்செயலின்போது உருவாகும் எரித்ரோஸ்-4-ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள், PEP-களுடன் இணைவதால் உருவாகும் விளைப்பொருட்கள், தாவரங்களுக்குறிய ஃபினைல் சேர்மங்கள், நறுமண அமினோ அமிலங்கள் ஆகியவற்றின் உற்பத்திற்கு உதவுவதுடன், லிக்னின், ஃபிளேவோனாய்டுகள், ஃபைட்டோலெக்சின்கள் ஆகியவற்றின் உற்பத்திக்கான முன்னோடிச் சேர்மங்களாகவும் செயல் படுகின்றன.

6) தாவர செல்கள் பகுபடுநிலையில் இருந்து, வேறுபாடடைந்த நிலைக்கு மாறும்போது மிகையான அளவில் பெண்டோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் தேவைப்படுகின்றன. இதனை, ஈடு செய்ய இந்தச் செயல் பெரிதும் உதவுகிறது.

6. தாவர வளர்ச்சி ஒழுங்குபடுத்திகள் (Plant Growth Regulators)

உயர்தாவரங்களில், வளர்சிதை மாற்றம், வளர்ச்சி, உறுப்பாக்கம் ஆகியவற்றின் ஒழுங்கு முறை, தாவரத்தின் ஓர் இலக்கில் உற்பத்தியாகி, இவை நிகழும் இடத்திற்குக் கடத்தப்படும் வேதிக் குறிப்புணர்வு (Chemical Signal) மூலம் நிகழ்கிறது என்ற கருத்தைப் பதினெட்டாம் நூற்றாண்டிலேயே சாக்ஸ் (Sachs) என்பவர் வெளியிட்டுள்ளார். இவற்றிற்கு இவர் வேதித்தூதுவர்கள் (Chemical messengers) எனப் பெயரிட்டார். இவற்றின் வேதித்தன்மையை அறியாதிருந்தாலும், ஒளி, புவி ஈர்ப்பு விசை ஆகிய புறக்காரணிகளால் இவற்றின் பரவல் முறை தீர்மானிக்கப்படுகிறது என்பதை இவர் அறிந்திருந்தார்.

விலங்குகளில் உள்ள, இது போன்ற வேதித்தூதுவர்கள் ஹார்மோன்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. எனவே தாவரங்களின் வேதித்தூதுவர்கள் தாவரஹார்மோன்கள் (Phytohormones) என அழைக்கப்படுகின்றன. இவை தாவரங்களில் குறிப்புணர்த்தும் மூலக்கூறுகளாக இருந்து, மிக மிகக் குறைந்த செறிவில் வளர்ச்சி, உறுப்பாக்கச் செயல்கள் ஆகியவற்றில் மிகப்பெரிய விளைவுகளை ஏற்படுத்துகின்றன.

“ஆக்சின்கள் (Auxins), ஜிப்பெரெல்லின்கள் (Giberellins) சைட்டோகைனின்கள் (Cytokinins), எதிலீன் (Ethylene), அப்சிசிக் அமிலம் (Abscisic acid) ஆகிய ஐந்து மட்டுமே தாவரங்களின் வளர்ச்சி, உறுப்பு ஆக்கச் செயல்கள் ஆகியவற்றை ஒழுங்குபடுத்தும் இயல்பு ஹார்மோன்களாகச் செயல்படுகின்றன” என, அண்மைக்காலம் வரை கருதப்பட்டு வந்தது. ஆனால் நோயூக்கும் உயிரிகளுக்கு எதிர்ப்புத்தன்மையைத் தூண்டும், மற்றும் தாவர உண்ணிகளாக உள்ள உயிரிகளிடமிருந்து பாதுகாத்துக்கொள்ள உதவும் ஒரு சில வேதிச்சேர்மங்கள் இது போன்ற குறிப்புணர்த்தும் மூலக்கூறுகளாகச் செயல்படுகின்றன என்று தற்போது கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இவையும் ஹார்மோன்களாகக் கருதப்படுகின்றன.

6.1. ஆக்சின்கள்

உயர்தாவரங்களில் முதன்முதலில் கண்டறியப்பட்ட வளர்ச்சி ஹார்மோன் இதுவாகும். ஒட்ஸ் என்ற *அவீனா* தாவரத்தின் முளைக் குறுத்துப் பகுதியில் செய்த கீழ்க்கண்ட வளைவியக்க சோதனைகள் மூலம் ஆக்சின் இருப்பது கண்டறியப்பட்டது.

* முளைக்குறுத்து நுனியில் வளர்ச்சிக்கான தூண்டல் உருவாகி, வளர்ச்சி நிகழும் இலக்கிற்கு அனுப்பப்படுகிறது என்பதை 1880ஆம் ஆண்டில் சார்லஸ் டார்வின் கண்டறிந்தார்.

* நீரை ஊடுகடத்தாத மைகா போன்ற பொருட்களை இடையீடு செய்தால், இத்தூண்டல் நுனியிலிருந்து கடத்தப்படுவது தடைபடுகிறது என்பதை 1913-ஆம் ஆண்டில் பாய்சென் ஜென்சென் (Boysen-Jenson) என்பவர் கண்டறிந்தார்.

* வளைவியக்க வளர்ச்சியை ஊக்கப்படுத்தும் இத்தூண்டல் ஒரு வேதிப்பொருளாக இருக்க வேண்டும் என்பதை 1919-ஆம் ஆண்டில் பால் (Paal) என்பவர் கண்டறிந்தார்.

* பகுப்பாய்வு செய்வதற்கேற்ப இந்த வேதிப்பொருளைத் தனித்துப் பிரித்தெடுக்கலாம் எனக் கண்டுபிடித்ததோடு, "வளர்சிக்கான" என்ற பொருளை உணர்த்தும் "ஆக்சின்" என்ற கிரேக்கச் சொல்லை இந்த வளர்ச்சி ஊக்கிக்குப் பெயராக 1926ஆம் ஆண்டில் வைத்தவர் வெண்ட் (Went) என்பவராவார்.

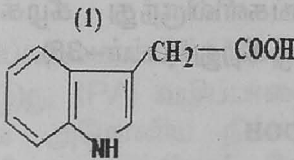
61.1. ஆக்சினின் வேதித்தன்மை

அவீனா முளைக்குறுத்து நுனியிலிருந்து பிரித்தெடுத்துப் பகுப்பாய்வு செய்த பின்னர், வேதித்தன்மையில் ஆக்சின் இண்டோல்-3-அசிடிக் அமிலம் (IAA) என்பதை 1930இல் கண்டறிந்தனர். இது உயர்தாவரங்களில் காணப்படும் முதன்மை ஆக்சின் சேர்மம் ஆகும். இது தவிர IAA-யுடன், அமைப்பு, செயல்பாடு ஆகியவற்றில் ஒத்த வேறுசில வேதிச் சேர்மங்களும் கண்டறியப்பட்டு அவையும் ஆக்சின் ஹார்மோன்களாகக் கருதப்படுகின்றன. இவற்றுள் ஒன்று பல்வேறு லெகூம் தாவரங்களின் இளம்விதைகளில் கண்டறியப்பட்ட 4-குளோரோ இண்டோல் அசிடிக்அமிலம் ஆகும். IAA-ஐ விடப் பரவலாகப் பல்வேறு தாவரங்களில் இருப்பதாக அறியப்பட்ட ஃபினைல் அசிடிக் அமிலமும் ஒருவகை ஆக்சின் ஆகும். ஆனால் இது IAA-ஐ விடக் குறைந்த செயல்பாடு கொண்டது. சமீபத்தில் சோளத் தாவரத்தின் இலைகள், பல்வேறு இருவித்திலைத் தாவரங்கள் ஆகியவற்றில் அறியப்பட்ட இண்டோல் பியூட்ரிக் அமிலமும் இயற்கையில் காணப்படும் ஒரு ஆக்சினாகும்.

தற்போது வேதிய முறையில், IAA-யின் செயல்பாடுகளுடன் ஒத்த செயற்கை ஆக்சின் சேர்மங்கள் உற்பத்தி செய்யப்பட்டு நடைமுறையில்

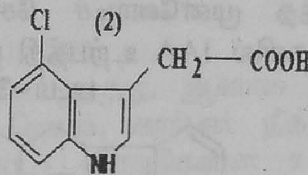
கையாளப்படுகின்றன. அப்படிப்பட்ட செயற்கை ஆக்சின்களுக்கு நாப்தலின் அசிடிக்அமிலம் (Naphthalene Acetic Acid), 2-மெதாக்சி-3,6-டைகுளோரோ பென்சோயிக் அமிலம் (2-Methoxy-3,6-dichlorobenzoic acid), 2,4-டைகுளோரோஃபினாக்ஸி அசிடிக் அமிலம் (2,4-Dichlorophenoxy acetic acid –2,4-D) ஆகியவை சிறந்த எடுத்துக் காட்டுகளாகும் (படம் –37).

படம் –37

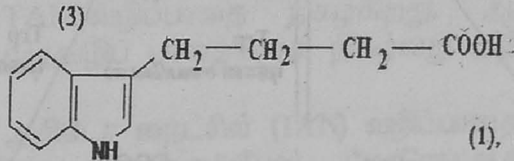


இண்டோல்-3-அசிட்டிக் அமிலம்

(IAA)

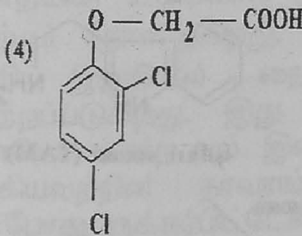


4-குளோரோஇண்டோல்-3-அசிட்டிக் அமிலம் (4-Cl-IAA)

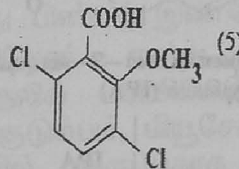


இண்டோல்-3-பியூட்ரிக் அமிலம் (IBA)

(1), (2), (3) - இயற்கை ஆக்சின்கள்



2,4-டைகுளோரோ.'.பினாக்சி அசிட்டிக் அமிலம்



2-மெதாக்சி-3,6-டைகுளோரோ பென்சோயிக் அமிலம்

(4), (5) - செயற்கை ஆக்சின்கள்

61.2. ஆக்சின் உற்பத்தியாகும் பகுதிகள்

மிகவேகமாகப் பகுபட்டுக் கொண்டிருக்கும், வளர்ச்சியடைந்து கொண்டிருக்கும் திசுக்களில், குறிப்பாகத் தண்டுத் தொகுப்பின் நுனிஆக்குத் திசுக்களில் ஆக்சின் உற்பத்தி அதிகம் நிகழ்கிறது. இது தவிர இளம் இலைகள், உருவாகிக் கொண்டிருக்கும் கனிகள் மற்றும் விதைகளில் இது அதிகம் உற்பத்தியாகிறது.

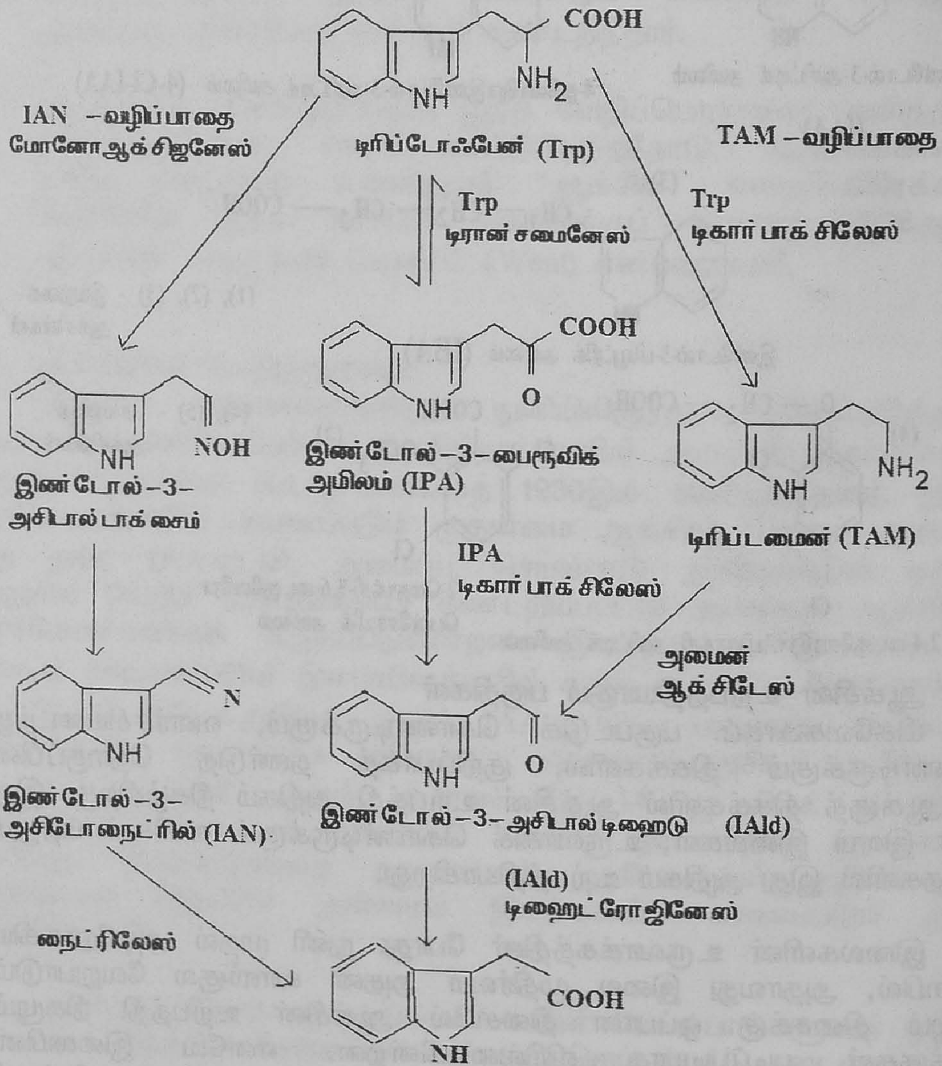
இலைகளின் உருவாக்கத்தின் போது, நுனி முதல் அடிநோக்கிய திசையில், அதாவது இலை முதிர்வும் அதன் வாஸ்குல வேறுபாடும் நிகழும் திசைக்கு ஒப்பான திசையில் ஆக்சின் உற்பத்தி நிகழும் இலக்குகள் படிப்படியாக விரிவடைகின்றன. எனவே இலையின் நுனியில் தொடங்கி விளிம்பை நோக்கி, இடம்பெயர்ந்து பின்னர்

இலையின் மையத்தைச் சென்றடைகிறது. இந்த உண்மை *அராபிடாப்சிஸ்* தாவரத்தில் செய்த சோதனைகள் மூலம் தெரியவந்துள்ளது.

6.1.3. ஆக்சின் உற்பத்தி முறை

ஆக்சின் உற்பத்திக்கு உதவும் முன்னோடிச் சேர்மம் டிரிப்டோஃபேன் (Tryptophan) என்ற அமினோ அமிலமாகும். உயர் தாவரங்களில், இந்த முன்னோடிச் சேர்மங்களிலிருந்து கீழ்க்கண்ட மூன்று வழிப்பாதைகளில் IAA உற்பத்தி நிகழ்கிறது (படம் –38).

படம் –38



(i) இண்டோல் பைரூவிக் அமில (IPA) வழிப்பாதை

பெரும்பகுதி ஆக்சின் உற்பத்தி, பொதுவாக இம்முறை மூலமே நிகழ்கிறது. இம்முறையில் டிரிப்டோஃபேன் முதலில் அமோனிய நீக்கம் அடைந்து IPA-உருவாகிறது. பின்னர் இது கார்பன் நீக்கச்செயல் மூலம் இண்டோல்-3-அசிடால்டிஹைடாக (IAld) மாறுகிறது. இறுதியாக IAld-டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதியின் உதவியால், ஹைட்ரஜன் நீக்கம் நிகழ்ந்து IAA உருவாகிறது.

(ii) டிரிப்டாமைன் (TAM) வழிப்பாதை

இது IPA வழிப்பாதையை ஒத்தது. ஆனால் IPA-வழிப்பாதையில் நிகழும் அமோனிய நீக்கம் செயல், கார்பன் நீக்கச் செயல் இங்கு தலைகீழாக முற்றிலும் வேறுபட்ட நொதிகளின் உதவியால் நிகழ்ந்து, டிரிப்டமைன், இண்டோல் 3-அசிடால்டிஹைடு ஆகியவை முறையே உருவாகி பின்னர் IAA-உற்பத்தியாகிறது. IPA வழிப்பாதை நிகழாத தாவரங்களில் TAM-வழிப்பாதை நிகழ்கிறது. ஆனால் தக்காளித் தாவரத்தில் இருவிதவழிப் பாதைகளும் நிகழ்வது அறியப்பட்டுள்ளது.

(iii) இண்டோல் அசிடோ நைட்ரில் (IAN) வழிப்பாதை

இம்முறையில், டிரிப்டோஃபேன் மோனோஆக்சிஜனேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் முதலில் இண்டோல்-3-அசிடால்டாக்சைம் என்ற சேர்மம் தோன்றுகிறது. இது பின்னர் இண்டோல்-3-அசிடோநைட்ரிலாக மாறி இறுதியில் நைட்ரிலேஸ் என்ற நொதியினால் IAA-வாக மாற்றப்படுகிறது. இது முதலில் பிராசிகேசி என்ற கடுகுக்குடும்பம், போயேசி என்ற புல் இனக்குடும்பம், மியூசேசி என்ற வாழைக்குடும்பம் ஆகியவற்றின் தாவரங்களில் இருப்பதாக அறியப்பட்டது. ஆனால் தற்போது குக்கர்பிட்டேசி என்ற பறங்கிக் குடும்பம், சொலானேசி என்ற புகையிலைக் குடும்பம், பாபேசி என்ற பருப்புக் குடும்பம், ரோசேசி என்ற ரோஸ் குடும்பத் தாவரங்களிலும் நிகழ்வது தெரியவந்துள்ளது.

61.4. செல்மட்டத்தில் IAA விரவியிருக்கும் விதம்

செல்களினுள் IAA விரவு முறை ஹைட்ரஜன் அயனிச்செறிவால் ஒழுங்குபடுத்தப்படுகிறது. எதிர்மின் சுமை பெற்ற நிலையில் ஆக்சின் (IAA) சவ்வின் ஊடே எளிதில் கடத்தப்படுவதில்லை. மாறாக ஹைட்ரஜனேற்றமடைந்த (IAAH) எளிதில் பரவுதலடைய முடியும். எனவே காரநிலை பெற்ற செல் பகுதிகளை நோக்கி இடம்பெயர்ந்து அதிகம் சேகரமடைகிறது. புகையிலை செல்களில் IAA விரவுமுறை படித்தறியப்பட்டுள்ளது. இவற்றின் பசுங்கணிகங்களில் மூன்றில் ஒரு பங்கும், மீதமுள்ள IAA சைட்டோபிளாசத்திலும் காணப்படுகிறது.

சைட்டோபிளாசத்தில், அஸ்பார்டேட் போன்ற பிற அமினோ அமிலங்களின் இணைதல் செயலாலும், கார்பன் நீக்கச் செயல் அல்லாத வேதிவினைகளாலும், IAA பிறசேர்மங்களாக வளர்சிதை மாற்றமடைகின்றன. ஆனால் இவை பசுங்கணிகங்களில் நிகழாததால் IAA பாதுகாக்கப்படுகிறது.

6.1.5. ஆக்சின் கடத்தப்படும் விதம்

பாரங்கைமா திசுக்கள் வழியாக, முனைவுதிசையில் அதாவது அச்சு வாக்கில் தண்டு நுனியிலிருந்து வேர் பகுதியை நோக்கி, IAA இடப்பெயர்வு அடைகிறது என்பதை வெண்ட் செய்த முளைக்குறுத்து வளைவியக்கச் சோதனையினைப் பின்பற்றிச் செய்யப்பட்ட சோதனை தெளிவுபடுத்தியுள்ளது. முழுத்தாவரத்திற்கான ஆக்சின் தண்டு நுனி ஆக்குத்திசுவில் உருவாவதாலும், முனைவுதிசையில் அது இடப்பெயர்வடைதலாலும், தாவரத்தின் தண்டு நுனியிலிருந்து வேர் நுனி நோக்கி இதன் செறிவு வாட்டம் ஒன்று ஏற்படகிறது. செல்களுக்கிடையே இந்த முனைவுதிசை நோக்கிய இடப்பெயர்வு நிகழ உயிர்ம ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது.

ஆனால், உயிர்மஆற்றலைப் பயன்படுத்தாமல் ஃபுளோயத்தின் வழியாக எளிய பரவுதல் செயல் மூலம் ஆக்சின் இடப்பெயர்வடைவது வேர்களிலும் இலைகளிலும் அறியப்பட்டுள்ளது. வேர்களில் அடியிலிருந்து நுனிநோக்கி இவ்விடப்பெயர்வு நிகழ்கிறது. இலைகளில் இது நுனிநோக்கி அல்லது அடிநோக்கி இரு திசைகளிலும் நிகழ்கிறது. இலைகளில் நிகழும் முனைவுதிசையற்ற இடப்பெயர்வு, தண்டில் நிகழும் முனைவுதிசை இடப்பெயர்வை விட மிகவேகமாக நடப்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

6.1.6. ஆக்சினால் நிகழும் வாழ்வில் விளைவுகள்

(i) ஒளி நாட்ட, புவி நாட்ட இயக்கங்களில் ஆக்சினின் பங்கு

தாவர வளர்ச்சியின் திசையமைவு ஒளி நாட்டம், புவி நாட்டம் ஆகிய இருவகை முறைகளால் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. இந்த இரண்டிற்குமான காரணிகளான ஒளி, புவி ஈர்ப்பு விசை ஆகிய இரண்டையும் தண்டு நுனிக்கு ஒரு பக்கமாக ஊட்டும் போது, காரணிகளின் திசை நோக்கி தண்டு நுனி வளைந்து வளர்கிறது.

ஒளியின் தூண்டல் முளைக்குறுத்தின் நுனியில் உணரப்படுகிறது. ஆனால் வளைவு தோன்றுவதற்கான வளர்ச்சியானது நுனிக்குக் கீழாக நிகழ்கிறது. இதற்கான காரணத்தை 1920–ஆம் ஆண்டில் நிகோலெய் கொலாட்னி (Nicolai Cholodny), ஃபிரிட்ஸ் வெண்ட் (Frits Went) ஆகியோர் கண்டறிந்து, கீழ்க்கண்ட விளக்கத்தைத் தந்துள்ளனர்.

ஒருபக்கமாக ஒளி ஊட்டப்படும் போது, நுனியில் உருவான ஆக்சின், நுனியிலிருந்து அடிநோக்கி நகர்வதற்குப்பதிலாக, பக்கவாட்டில் இடம் பெயர்கிறது. ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடைந்த ஃபோட்டோட்ரோபின்களின் செறிவு வாட்டம் ஒன்று தண்டு நுனியில் தோன்றுவதாலேயே, இந்தப் பக்கவாட்டு இடப்பெயர்வு நிகழ்கிறது.

ஃபிளேவோ புரதங்களான, ஃபோட்டோட்ரோபின்கள் ஒளியில் உள்ள ஊதா கதிர்களின் குறியினை ஏற்கும் ஏற்பிகளாகத் திகழ்கின்றன. எனவே, ஒளிபடும் பக்கத்தில், ஊதாகதிர்களின் குறியை ஏற்று, பாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடைகின்றன. எனவேதான் ஒளிபடும் பக்கம் இதன் செறிவு அதிகமாகவும், ஒளிபடா எதிர்பக்கத்தில் குறைவாகவும் காணப்படுகிறது. இந்தச் செறிவு வாட்டம், ஆக்சினின் பக்கவாட்டு இடப்பெயர்விற்கு உதவி, ஒளிபடாத எதிர்புறத்தில் அதன் செறிவ அதிகரித்திட உதவுகிறது. இவ்வாறு ஒருபக்கச் செறிவுற்ற பின்னர், ஆக்சின் முனைவுத் திசை இடப்பெயர்வடைந்து, தண்டு நுனியின் செல்நீட்சிப்பகுதியை அடைகிறது. இதனால் ஒளிபடாத எதிர்பக்கத்தின் நீட்சிப்பகுதியில் உள்ள செல்கள் அதிக அளவில் செல்பிரிதல், நீட்சியடைதல் ஆகியவற்றைச் செய்து, நுனி ஒளியை நோக்கி வளைந்து வளர உதவுகின்றன.

இதேபோல், புவி நாட்ட இயக்கத்திற்கும், ஆக்சினின் ஆரப்போக்கு இடப்பெயர்வால் ஏற்படும் செறிவு வாட்டமே காரணம் என்பதை இந்த இரு அறிவியலாரும் கண்டறிந்தனர். இருளில் வளர்ந்த *அவினா* நாற்றினைக் கிடைமட்டமாக வைக்கும்போது, அதன் முளைக்குறுத்து புவிஈர்ப்பு விசை தூண்டலால் மேல்நோக்கி வளைகிறது. கிடைமட்ட நிலையில் இருக்கும் போது முளைக்குறுத்து நுனியில் புவியை நோக்கிய கீழ்ப்பகுதியில் மேல் பகுதியை விட அதிக அளவில் ஆக்சின் செறிவடைகிறது.

புவிஈர்ப்பு விசையின் குறிப்புணர்வை ஏற்கும் செல்உள் உறுப்புகளாகத் திகழ்வது தரசக்கணிகங்களாகும். சைட்டோ பிளாசத்தைவிட இவை அதிக ஒப்படர்த்தி கொண்டவை. எனவே, இவை புவிஈர்ப்பு விசைக்கு உட்படும்போது செல்களின் அடிப்பகுதியை நோக்கிப் படிதலடைகின்றன. புவிஈர்ப்பு விசையை உணரும் தன்மையுடைய இவை ஸ்டாடோலித்துகள் (statoliths) எனப்படுகின்றன. இவற்றைப் பெற்ற செல்களுக்கு ஸ்டாடோசைட்டுகள் என்று பெயர். புவிஈர்ப்பு விசை வரும் திசை நோக்கி இவை படிதலுறும்போது ஆக்சினும் சேர்ந்து ஆரப்போக்கில் இடப்பெயர்வடைகிறது. தண்டு நுனிகளில் வாஸ்குல உருளையைச் சுற்றியுள்ள செல்கள் ஸ்டாடோசைட்டுகளாகச் செயல்பட்டு இந்த ஆரப்போக்கு இடப்பெயர்விற்கு உதவுகின்றன.

வேரில், வேர் நுனி மூடி (root cap) புவிஈர்ப்பு விசையை உணரும் பகுதியாகத் திகழ்கிறது. காலுமெல்லா எனப்படும் இதன் உள்ளிட அச்சு செல்கள் ஸ்டாடோசைட்டுகளாகச் செயல்படுகின்றன. கிடைமட்ட நிலையில் வேரில் வளைவு வளர்ச்சியை நிகழ்த்தும் செல்நீட்சிப்பகுதி, வேர்நுனி மூடிக்கு அப்பால் இருப்பதால், இந்த இரு பகுதிகளுக்குமிடையே தொடர்பினை ஏற்படுத்த ஒரு வேதிப்பொருள் உதவுகிறது என்பதையும், அது வேரின் கீழ்ப்புறமாக அதாவது, புவி ஈர்ப்பு விசை நோக்கிய பகுதியில், வளர்ச்சியை ஒடுக்கும் தன்மை கொண்டது என்பதையும், ஹாசென்ஸ்டீன் மற்றும் ஈவான்ஸ் (Hasenstein and Evans) என்பவர்கள் 1988–இல் கண்டறிந்தனர். இந்த வேதிப்பொருள் ஆக்சின் என்பதையும் இவர்கள் மெய்ப்பித்தனர். இவர்களின் சோதனை முடிவுகளின் முக்கிய கருத்துகள் பின்வருமாறு:

- தண்டுநுனியில் உற்பத்தியான ஆக்சின் வாஸ்குல உருளையின் புரோட்டோஃபுளோயத்தின் வழியாகக் கடத்தப்பட்டு வேர்நுனி நோக்கி இடம்பெயர்கிறது. இதற்கு Aux1- பெர்மியேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது.

- வேர் நுனியை வந்தடைந்த ஆக்சின், வேரின் புறணி செல்கள் வழியாக நுனியிலிருந்து கீழ்நோக்கி, அதாவது செல்நீட்சிப்பகுதியை நோக்கி இடம்பெயர்கிறது.

- செல் நீட்சிப்பகுதிக்கு அப்பால் ஆக்சின் இடம் பெயர்வதில்லை. இதற்கு, இப்பகுதியில் உள்ள செல்களில் இடப்பெயர்வைத் தடுக்க உதவும் ஃபிளேவோனாய்டுகள் உதவுகின்றன.

- வேரைக் கிடைமட்ட நிலையில் வைக்கும் போது, ஆக்சின் வேர்நுனி மூடியில், புவி ஈர்ப்பு விசை நோக்கிய பக்கமாக செறிவுற, ஸ்டாடோலித்துகள் உதவுகின்றன. எனவே, மேற்பகுதியைவிட அடிப்பகுதி வழியாக ஆக்சின் முனைவு இடப்பெயர்வடைந்து அதிக செறிவில் செல்நீட்சிப் பகுதியை அடைகிறது.

- அதிக செறிவுற்ற நிலையில் வேரின் வளர்ச்சியை ஒடுக்கும் சேர்மமாக ஆக்சின் திகழ்வதால், செறிவு குறைவான மேற்பகுதியில் வளர்ச்சி வேகமாக நிகழ்ந்து வேர் புவிஈர்ப்பு விசையை நோக்கி வளைந்து வளர்கிறது.

(ii) உறுப்பு ஆக்கம் சார்ந்த விளைவுகள்

முளைத்தலில் இருந்து, முதிர்ந்து வயதாதல் வரை தாவரங்களின் வாழ்க்கை வட்டத்தின் எந்த நிலைலும் ஆக்சின் தாக்கத்தை ஏற்படுத்தலாம். நுனி ஆதிக்கம், இலை உதிர்தல், பக்கவேர் உருவாதல், வாஸ்குலத் திசு வேறுபாடடைதல் போன்ற உறுப்பு ஆக்கம் சார்ந்த விளைவுகள் இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

(அ) நுனி ஆதிக்கம்

வளர்ந்து கொண்டிருக்கும் நுனிமொட்டு, கோணமொட்டுகளின் வளர்ச்சியை ஒடுக்கும் நிகழ்ச்சிக்கு நுனி ஆதிக்கம் என்று பெயர். எனவேதான் நுனி நீக்கம் செய்யப்பட்ட தண்டில் கோணமொட்டுகள் துரித வளர்ச்சி அடைந்து கிளைகள் உருவாகின்றன. கோண மொட்டுகள் வளர்வடங்கியிருக்கக் காரணம், நுனிமொட்டில் உள்ள மிகையான ஆக்சின் செறிவே என கென்னெத் வி. திம்மன் (Kennath V. Thimann) மற்றும் ஃபோல்கி ஸ்கூக் (Folke Skoog) என்பவர்கள் கண்டறிந்தனர்.

நுனி நீக்கப்படாத தண்டில் கோணமெட்டுகளில் அப்சிசிக் அமிலத்தின் (ABA) செறிவு அதிகமாயிருத்தல் தெரியவந்துள்ளது. எனவேதான் அவை வளர்வடங்கி உள்ளன. நுனி உள்ள நிலையில் அதிலுள்ள உயர்ஆக்சின் செறிவு கோணமெட்டுகளில் ABA - யின் செறிவைத் தக்கவைக்க உதவுகிறது. ஆனால் நுனி நீக்கப்பட்டவுடன் கோணமொட்டுகளில் ABA-யின் செறிவு குறைந்துவிடுவதால், அவற்றின் வளர்ச்சி தூண்டப்பட்டு கிளைகள் உருவாகின்றன என்பது தெரியவந்துள்ளது.

(ஆ) பக்கவேர்கள், வேற்றிட வேர்கள் ஆகியவை உருவாதலைத் தூண்டுதல்

ஆக்சின் செறிவு 10^{-8} மோலார் அளவில் உள்ள போது, முதல் நிலை வேரின் வளர்ச்சி ஒடுக்கப்படுகிறது. இருப்பினும், இதை விட அதிகமான செறிவில் பக்க வேர்கள், வேற்றிட வேர்கள் இவற்றின் உருவாக்கம் தூண்டப்படுகிறது.

பக்கவேர்கள், வேரில் செல்நீட்சிப் பகுதிக்கும் வேர்த்தூவிப் பகுதிக்கும் அப்பால், பெரிசைகிள் அடுக்கின் செல் தொகுப்பிலிருந்து உருவாகின்றன. மிகையான ஆக்சின் செறிவில் இதன் செல்களில், செல்பிரிதல் தூண்டப்பட்டு, படிப்படியாக வேர் நுனி ஒன்று உருவாகிறது. இது வேரின் புறணி, புற அடுக்கு ஆகியவற்றின் வழியாகப் பக்கவேராக பின்னர் வளர்கிறது.

வேர்த்திசு அல்லாத பிற திசுக்களிலிருந்து உருவாக்கப்படும் வேர்கள் வேற்றிட வேர்களாகும். முதிர்ச்சியுற்ற இத்திசுக்களின் செல்கள் பகுபடு நிலையை அடைந்து தோன்றும் இவ்வேற்றிட வேர்களும், பக்கவேர்கள் உருவாவது போலவே உருவாகின்றன. தோட்டக்கலையில், குச்சிப்பதியங்களில் இவ்விதமான வேர்கள் தோன்றுவதை ஊக்கப்படுத்த தற்போது செயற்கை ஆக்சின்கள் அதிகம் கையாளப்படுகின்றன. செயற்கை ஆக்சின்களை ஒரு குறிப்பிட்ட செறிவில் பெற்ற நீர்மக் கரைசலில் பதியங்களின் வெட்டு முனையைத் தோய்த்தெடுத்து நடும்போது வேற்றிடவேர்கள் வேகமாக உருவாகிப் பதியங்கள் புதிய தாவரங்களாக விரைந்து வளர்கின்றன.

(இ) உதிர் அடுக்கு உருவாதலைத் தாமதப்படுத்துதல்

இலைகள், மலர்கள், கனிகள் ஆகியவை உயிருள்ள தாவரத்திலிருந்து அகலும் நிகழ்ச்சி உதிர்தல் எனப்படுகிறது. இவ்வுறுப்புகளின் காம்பின் அடியில் உருவாகும் உதிர் அடுக்கின் உதவியால் இச்செயல் நிகழ்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக, வயதான நிலையில், இலைகளின் காம்பில் உருவாகும் உதிர் அடுக்கின் செல்களின் செல்சுவர்கள் செறிக்கப்படுவதால் அப்பகுதி நலிவடைவதுடன், மென்மையும் அடைகிறது. நலிவுற்ற செல் சுவர்களின் தாக்கத்தினால், அவ்விடத்தில் இலைக் காம்பு உடைந்து இலை உதிர்கிறது.

இளம் இலைகளில் ஆக்சின் அளவு மிக அதிகமாக உள்ளது. இலை முதிரும்போது படிப்படியாக இந்த அளவு குறையத் தொடங்குகிறது. வயதான இலை ஒன்றில் உதிர் அடுக்குத் தோன்றும் நேரத்தில், ஆக்சின் அளவு, ஒப்பீட்டளவில் மிகக் குறைகிறது. இலைத்தாளிலிருந்து ஆக்சின் இடப்பெயர்வு அடைந்து, காம்பினை அடையும் காலம் வரை உதிர் அடுக்குத் தோன்றுவதில்லை. ஆனால் வயதான இலையில் ஆக்சின் அளவு மிகக்குறைவுற்று, காம்பை அடைய முடியாதநிலை ஏற்படும் போது உதிர்அடுக்குத் தோன்றிவிடுகிறது. இதற்கு மாறாக செயற்கை ஆக்சின்கள் தெளிக்கப்படும்போது இவ்வுறுப்புகளின் காம்புகளில் உதிர் அடுக்குத் தோன்றுதல் தாமதிக்கப்பட்டு, உதிர்தல் தவிர்க்கப்படுகிறது.

(ஈ) மலர் மொட்டுகளின் வளர்ச்சியை ஒழுங்குபடுத்துதல்

மலர் வட்டங்களில் உள்ள உறுப்புகளின் இயல்பான உருவாக்கத்திற்கு மொட்டுநுனியில் உருவாக்கப்படும் ஆக்சினின் சீரான முனைவு இடப்பெயர்வு மிகத் தேவையாகும். இந்த இடப்பெயர்வு தடைப்படும்போது, மலர் வட்டங்களை உருவாக்கும் ஆக்குத்திசு செல்களுக்கு ஆக்சின் பற்றாக்குறை ஏற்படுகிறது. இதனால் மலர் வட்டங்களின் இயல்பான அடுக்குமுறை பாதிப்படைவதோடு மலரின்

ஒட்டுமொத்த வளர்ச்சியும் பாதிக்கப்படுகிறது. ஆக்சினின் இடப்பெயர்வை ஒடுக்கும், நாஃப்தைல்ஃப்தலாமிக் அமிலம் (naphthylphthalemic acid) போன்ற சேர்மம் அளிக்கப்படும்போது மலர் மொட்டுகளின் வளர்ச்சி குன்றுவதிலிருந்து இதனை நாம் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

(உ) கனி வளர்ச்சியை ஊக்கப்படுத்துதல்

கனியின் வளர்ச்சியை ஒழுங்குபடுத்துவதில் ஆக்சின் முக்கியப் பங்காற்றுகிறது. கனியின் உருவாக்கம், வளர்ச்சி ஆகியவற்றிற்குத் தேவையான ஆக்சின், மகரந்தம், கரு உணவு எனப்படும் முளைசூழ்திசு, வளரும் இளம்கரு ஆகியவற்றிலிருந்து கிடைக்கிறது.

வெற்றிகரமான மகரந்த சேர்க்கை, சூலின் வளர்ச்சியைத் தொடங்கி வைப்பதால், கனி உருவாகத் தொடங்குகிறது. இதற்கு வளரும் மகரந்தத்திலிருந்து வரும் ஆக்சின் உதவுகிறது. கருவுறுதலுக்குப்பின், கனியின் தொடக்க வளர்ச்சிக்கு, முளை சூழ்த்திசுவிலிருந்து உருவாகும் ஆக்சின் உதவுகிறது. பின்னர் ஏற்படும் கனியின் வளர்ச்சிக்கு இளங்கருவிலிருந்து உருவாகிவரும் ஆக்சின் உதவுகிறது.

ஸ்ட்ராபெர்ரியில் பூத்தளமே கனியின் சதைப்பற்றுடைய அமைப்பாக மாறுகிறது. விதைகளைப் பெற்ற ஆக்கீன் கனிகளே உண்மைக் கனிகளாகும். இந்த அக்கீன்கள் நீக்கப்படும்போது, வளர்ச்சி குன்றிய பொலிவற்ற ஸ்ட்ராபெர்ரிகள் உருவாகின்றன. விதையில் உள்ள கருவின் மூலம் உருவாகும் ஆக்சின் கிடைக்காமையே இதற்குக் காரணமாகும்.

(ஊ) வாஸ்குல திசு வேறுபாடடைதலைத் தூண்டுதல்

வளரும் மொட்டின், இளம் இலைகளுக்குக் கீழ் நேரடியாகப் புதிய வாஸ்குலத் திசுக்கள் வேறுபாடடைகின்றன. இது இளம் இலைகள் நீக்கப்படும் போது பெரிதும் பாதிக்கப்படுகிறது. திசுவளர்ப்புச் சோதனை மூலம் இதனை மெய்ப்பிக்கலாம். திசுவளர்ப்பின் போது தோன்றும் காலஸ் திசுவில் நுனிமொட்டு ஒன்றைப் பதியவைக்கும்போது, பதியத்தின் கீழ், காலஸ் திசுவில் சைலம், ஃபுளோயம் வேறுபாடு ஏற்பட்டிருப்பதை நாம் காணலாம். மொட்டின் இளம் இலைகளிலிருந்து வந்த ஆக்சினே இதற்குக் காரணமாகும்.

உருவாகும் சைலம், ஃபுளோயம் திசுக்களின் ஒப்பீட்டளவு கிடைக்கும் ஆக்சினின் செறிவினால் ஒழுங்குப்படுத்தப்படுகிறது. உயர் ஆக்சின் செறிவு, சைலம், ஃபுளோயம் ஆகிய இரண்டின் வேறுபாடடைதலையும் தூண்டும் தன்மை உள்ளது. எனினும், குறைவான ஆக்சின் செறிவில் ஃபுளோயம் மட்டுமே வேறுபாடடைய முடியும் என்பதையும் சோதனைகள் மெய்ப்பித்துள்ளன.

காயங்கள் ஏற்பட்ட இடங்களில் வாஸ்குலத் திசு உயிர்ப்பிக்கப் படுதல், காயங்களுக்கு மேல்உள்ள இளம் இலைகளிலிருந்து உருவாகிவரும் ஆக்சின் செறிவைக் கொண்டு தீர்மானிக்கப்படுகிறது. காயப்பகுதியில் உள்ள இலைகள் அகற்றப்படும் போது வாஸ்குலத் திசு வேறுபாடடைதல் தடைப்படுகிறது. மாறாக, ஆக்சின் செயற்கையாக அளிக்கப்படும்போது, இலைகள் அகற்றப்பட்டதால் ஏற்பட்ட விளைவு ஈடுசெய்யப்படுகிறது.

6.1.7. செயற்கை ஆக்சின்களின் வணிகமுறைப் பயன்கள்

வேளாண்மையிலும், தோட்டக்கலையிலும், ஆக்சின்கள் ஐம்பது ஆண்டுகளுக்கும் மேலாக வணிகமுறையில் கையாளப்பட்டு வருகின்றன. கீழ்க்கண்ட செயல்பாடுகளுக்குச் செயற்கை ஆக்சின்கள் வணிகமுறையில் கையாளப்படுகின்றன.

- இலைகள், கனிகள் முதிர்வதற்கு முன்பே உதிர்ந்துவிடுதலைத் தடுப்பதற்கு,
- அன்னாசிப் பழத்தாவரத்தில் பூத்தலைத் தூண்டுவதற்கு,
- குச்சிப் பதியங்களில் வேற்றிட வேர்கள் உருவாவதைத் தூண்டிப் பதியங்களை நிலைபெறச் செய்வதற்கு,
- விதையிலாக் கனிகளை உருவாக்குவதற்கு. சூழலின் வளர்ச்சி தூண்டப்பட்டு கனி உருவாக்கம் தொடங்கியவுடன், அதன் உள்ளார்ந்த ஆக்சின் உற்பத்தி நிகழத்தொடங்கி, கனியின் வளர்ச்சி நிகழ்ந்துவிடுகிறது. கருவுறாத சூல்களுக்குச் செயற்கை ஆக்சின் அளிக்கப்படும் போது இது நிகழ்ந்து விதையிலாக் கனிகள் உருவாகின்றன. விதையிலாக் கனியின் ஆக்கத்தில் மற்றொரு விளைவு, கருவுறாத சூலில் எத்திலீன் உற்பத்தியைத் தூண்டச் செய்வதாகும். செயற்கை ஆக்சின் அளிக்கப்படும் போது சில சமயம் இந்த விளைவும் ஏற்படுவதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

மேற்கூறப்பட்ட அனைத்தும், தொடக்ககாலம் முதற்கொண்டே ஆக்சினால் பெறப்பட்டுவரும் நன்மைகளாகும். அண்மைக்காலத்தில் செயற்கை ஆக்சின்கள் தேர்வு களைக்கொல்லிகளாகக் கையாளப் படுகின்றன. அனைத்து இருவித்திலைத் தாவரங்களுக்கும், குறிப்பாக அகன்ற இலைகளையுடைய களைச்செடிகளுக்கு, அதிகச் செறிவில் செயற்கை ஆக்சின் அளிக்கும் போது அவற்றின் வேரின் வளர்ச்சி பெரிதும் பாதிக்கப்பட்டு அவை அழிய நேரிடுகிறது. இதற்காகப் பயன் படுத்தப்படும் 2,4-D என்ற, 2,4-டைகுளோரோ ஃபினாக்ஸி அசிடிக் அமிலம், 2-மெதாக்ஸி-3,6-டைகுளோரோ பென்சாயிக் அமிலம் போன்ற செயற்கை ஆக்சின்களை எளிதில் வளர்சிதை மாற்றமடையச் செய்யும் தன்மையை இத்தாவரங்கள் பெற்றிராமையே இதற்குக் காரணமாகும்.

ஆனால் இதே செறிவில் பல்வேறு ஒருவித்திலைத் தாவரங்களில் இவை எந்தப் பாதிப்பையும் ஏற்படுத்துவதில்லை. இத்தாவரங்களில் இந்தச் செயற்கை ஆக்சின்கள் சில அமினோ அமிலங்களுடன் இணைவுற்றுச் செயல் இழப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். 2,4–D கேம்பியத் திசுவைப் பாதிக்கிறது; இருவித்திலைத் தாவரங்களில் காணப்படும் கேம்பியத்திசு ஒருவித்திலைத் தாவரங்களில் காணப்படுவதில்லை என்பதும் இங்கு குறிப்பிடத்தக்கது. எனவேதான் சில வேளாண்மை விளை நிலங்களில் குறிப்பாகச் சோளம் பயிரிடப்படும் வயல்களில், வீட்டுத் தோட்டங்களில், முகப்பில் வளர்க்கப்படும் புல் வெளிகளில் களை நீக்கம் செய்ய இந்தச் செயற்கை ஆக்சின்கள் தேர்வுகளைக் கொல்லிகளாகக் கையாளப் படுகின்றன.

6.2. ஜிப்பெரெல்லின்கள் (Gibberellins)

ஆக்சின் கண்டறியப்பட்ட ஆண்டான 1927–ஆம் ஆண்டிற்குப் பிறகு ஏறத்தாழ இருபது ஆண்டுகள் கழித்து 1950–இல் மற்றொரு ஹார்மோன் தொகுதியாகிய ஜிப்பெரெல்லின்கள் (GAs) கண்டறியப் பட்டு பண்பறியப்பட்டன. உறவுகொண்ட பல்வேறுவகையான சேர்மங்களை உள்ளடக்கிய மிகப் பெரிய ஹார்மோன் தொகுப்பு இதுவாகும். இது வரை 125 வகையான ஜிப்பெரெல்லின் ஹார்மோன்கள் அறியப்பட்டுள்ளன. ஆக்சின்களைப்போல உயிரிய செயல்பாட்டின் மூலம் வரையறுக்கப்படாமல், வேதித்தன்மையின் மூலம் இவையாவும் வரையறுக்கப்படுகின்றன.

அமெரிக்கா, பிரிட்டன் ஆகிய நாடுகளின் அறிவியலறிஞர்களால், 1950–இல் இவை உலகறியப்பட்டன. ஆனால், அதற்கு முன்பாகவே ஜப்பானிய அறிஞர்கள் இவற்றை அறிந்திருந்தனர். ஆசிய நாடுகளில் விதைகளை உருவாக்காது மிக உயரத்திற்கு வளர்ந்த நெல் நாற்றுகளில் ஒரு பூஞ்சை உற்பத்தி செய்த ஒரு வேதிப்பொருளே இத்தாவரங்களின் கணுவிடை நீட்சிக்குக் காரணம் என்பதையும் இவர்கள் கண்டறிந்தனர். இந்தப் பூஞ்சை நோய்க்கு ‘பகானே’ (bakanae) என்றும் இவர்கள் பெயரிட்டனர்.

தாவர நோயியல் அறிஞர்கள் இந்தப் பூஞ்சையை *ஜிப்பெரெல்லா ஃபியூஜிகொராய்* (*Gibberella fugikuroi*) என இனமறிந்ததோடு, நெல் தாவரங்களின் உயர வளர்ச்சிக்குக் காரணமாயிருந்த கணுவிடை நீட்சிக்கு உதவிய செயலூக்கப் பொருட்கள் இரண்டை இப்பூஞ்சையின் வளர்ப்பிலிருந்து பிரித்தெடுத்தனர். இவற்றிற்கு ஜிப்பெரெல்லின் A, B எனப் பெயரிட்டனர். வேதித்தன்மையில் இது ஜிப்பெரெல்லிக் அமிலம் என்பதையும், இல்லினாய்ஸ்–இன் (Illinois) பியோரியா என்ற இடத்தில்

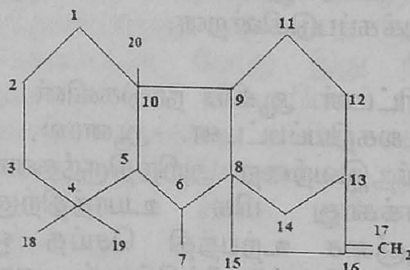
உள்ள அமெரிக்க வேளாண்துறை கண்டறிந்தது. இதற்கிடையில், ஜிப்பெரெல்லின் A-யிலிருந்து, A_1, A_2, A_3 என்ற மூன்று வகைகளை, டோக்கியோ பல்கலைக்கழக அறிவியல் அறிஞர்கள் பிரித்தெடுத்தனர். இவற்றுள், A-3, ஜிப்பெரெல்லிக் அமிலம் என்று உறுதிப்படுத்தினர்.

இதன் பின்னர், 1958–இல் *ஃபேசியோலஸ் காக்சினியஸ்* (*Phaseolus coccineus*) தாவரத்தில் ஜிப்பெரெல்லின் A_1 இருப்பது கண்டறியப்பட்டது. இதனைத் தொடர்ந்து பூஞ்சை வழித்தோன்றிய, உயர்தாவரங்கள் வழித்தோன்றிய பல்வேறுவகையான ஜிப்பெரெல்லின்கள் கண்டறியப்பட்டு அவைகள் GA_x என எண்களிடப் பட்டன. இதில் 'x' என்பது இதுவரை அறியப்பட்ட ஜிப்பெரெல்லின்களின் எண்ணிக்கையாகும்.

6.2.1. ஜிப்பெரெல்லினின் வேதியமைப்பு

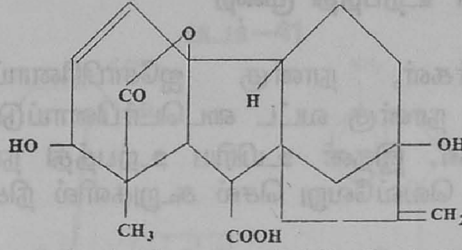
அனைத்து ஜிப்பெரெல்லின்களும், ஜிப்பெரெல்லேன் என்ற வேதி உருச் சட்டத்தை அடிப்படை அமைப்பாகப் பெற்றிருப்பது குறிப் பிடத்தக்கது. இது பொதுவாக 20 கார்பன்களை, A,B,C,D, என்ற நான்கு வளையங்களில் பெற்ற கீழ்க்கண்ட ஒரு உருச் சட்டமாகும் (படம்–39).

படம்–39



ஹைட்ராக்சில், மெதில், கார்பானில், அமிலத் தொகுப்புகள், ஆக்சிஜன் அணு ஆகியவை அமைந்திருக்கும் இலக்குகளைக் கொண்டு, பல்வேறு வகை ஜிப்பெரெல்லின்கள் அறியப்பட்டுள்ளன. இவற்றுள் அனைத்துத் தாவரங்களிலும் GA_3 இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இதன் வேதியமைப்பு பின்வருமாறு: (படம்–40)

படம்–40



ஐம்பதிற்கும் மேற்பட்ட ஜிப்பெரெல்லின்கள் இதுவரை அறியப்பட்டிருந்தாலும், இவற்றுள் ஒருசில மட்டுமே உயிரிய விளைவுகளை ஏற்படுத்தக்கூடியவை. இவற்றுள் GA_3 குறிப்பிடத்தக்கது.

62.2. ஜிப்பெரெல்லின் உற்பத்தியாகும் தாவரப் பகுதிகளும், கடத்தப்படும் முறையும்.

முதிரா விதைகள், உருவாகிக் கொண்டிருக்கும் கனிகள், ஆகியவற்றில் ஜிப்பெரெல்லின் அளவு உயர்வாக உள்ளது. வேகமாக வளர்ந்து கொண்டிருக்கும் மொட்டுகள், இலைகள், நுனி அருகு கணுவிடைப் பகுதிகள் அகியவை ஜிப்பெரெல்லின் உற்பத்தி இலக்குகளாகத் திகழ்கின்றன என்பதைப், பட்டாணி நாற்றுகளில் செய்யப்பட்ட ஆய்வின் மூலம் எல்லியட்டும் (Elliott) அவரது குழுவினரும் கண்டறிந்துள்ளனர். *அராபிடாப்சிஸ்* (*Arabidopsis*) தாவரத்தில் செய்த ஆய்வுகளும் இதையே மெய்ப்பித்துள்ளன.

தண்டில் உற்பத்தியாகும் ஜிப்பெரெல்லின் தாவரத்தின் பிறபகுதிகளுக்கு ஃபுளோயத்தின் மூலம் கடத்தப்படுகிறது. ஜிப்பெரெல்லின் உற்பத்தியின் தொடக்க நிலைகள் ஒரு திசுப்பகுதியிலும், செயலூக்கப் பொருளாக அவை வளர்சிதை மாற்றமடைவது மற்றொரு திசுப் பகுதியிலும் நிகழ்வது குறிப்பிடத்தக்கது. இந்நிலையில், ஜிப்பெரெல்லின் உற்பத்தியின் போது உருவாகும் இடைப்பொருட்கள், செயலூக்க ஹார்மோனாக மாற்றப்படும் திசுப்பகுதிக்கு ஃபுளோயம் மூலம் கடத்தப்படபடுகிறது.

வேர் வடிசாறு, வேர்க் கசிவுத்திரவம் ஆகியவற்றிலும் ஜிப்பெரெல்லின் இருப்பது தெரியவந்துள்ளது. எனவே, வேரிலும் இதன் உற்பத்தி நிகழ்வதுடன், அது தண்டுத்தொகுப்பிற்கு சைலம் வழியாகக் கடத்தப்படலாம் எனவும் கருதப்படுகிறது.

62.3. ஜிப்பெரெல்லின் உற்பத்தி முறை

ஜிப்பெரெல்லின்கள், நான்கு ஐசோபிரினாய்டு (isoprenoid) அலகுகளைப் பெற்ற நான்கு வட்ட டைடெர்பினாய்டுகளாக (tetracyclic diterpinoids) உள்ளன. இதன் உயிரிய உற்பத்தி நான்கு நிலைகளில் நிகழ்வதுடன் இவை வெவ்வேறு செல் கூறுகளில் நிகழ்கின்றன.

முதல் நிலை, கணிகங்களில் நிகழ்கிறது. இந்நிலையின்போது நான்கு ஐசோபிரீன்கள் (ஒவ்வொன்றும் நான்கு கார்பன்களைப் பெற்றது) இணைந்து ஜெரானில் ஜெரானஜல் டைஃபாஃபேட் முதலில் உருவாகிறது. பின்னர் இதிலிருந்து ஜிப்பெரெல்லினின் அமைப்புச் சட்டமான ஜிப்பெரெல்லேன் உருவாக்கப்படுகிறது.

இரண்டாவது நிலை எண்டோபிளாச வலையில் நிகழ்கிறது. இந்நிலையின்போது 6-ஆவது கார்பனில் ஆல்டிஹைடைப்பெற்ற GA_{12}-ஆல்டிஹைடு முதலில் உருவாகி, பின்னர் ஆல்டிஹைடு தொகுப்பிற்கு பதிலாக COOH-ஐ பெற்ற, GA_{12} தோன்றுகிறது. இதன் 13-ஆவது கார்பனில் ஹைட்ராக்சில் தொகுப்பு சேர்க்கப்படும்போது GA_{53} உருவாகிறது.

சைட்டோபிளாசத்தில் நிகழும் மூன்றாவது நிலையின்போது GA_{12}, GA_{53} ஆகியவை, GA_{20}-ஆக்சிடேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால், **20–ஆவது** கார்பனில் நிகழும் ஆக்சிஜன்ஏற்றச் செயலாலும், **13–ஆவது** கார்பனில் நிகழும் ஹைட்ராக்சில் (-OH) சேர்க்கைச் செயலாலும் பிறவகை ஜிப்பெரெல்லின்களாக மாற்றப்படுகின்றன (**படம்–41**).

படம் –41

DMAPP

ஐசோபெண்டனில்

அமைனோபியூரின்

ஐசோபெண்டினில் அடினோசைன் டிரைஃபாஸஃபேட்

ஜியாடின் ரிபோசைடு டிரைஃபாஸ்ஃபேட்

ஐசோபெண்டினில் அடினைன்

டிரான்ஸ் ஜியாடின்

சிஸ் ஜியாடின்

6.2.4. ஜிப்பெரெல்லினால் நிகழும் வாழ்வியல் விளைவுகள்

6.2.4.1. தண்டு வளர்ச்சியைத் தூண்டுதல்

பல்வேறு சிற்றினங்களில் கணுவிடை நீட்சியை ஊக்கப்படுத்தும் தன்மை ஜிப்பெரெல்லினுக்கு உண்டு. எனினும், குட்டைத் தன்மையுடைய தாவரங்களிலும், வேர் அண்மை இலையடுக்கமுடைய தாவரங்களிலும், புல் குடும்பத் தாவரங்களிலும், நிகழும் இந்தக் கணுவிடை நீட்சி வியக்கத்தக்கது. இத்தாவரங்களில் கணுவிடை நீட்சியுடன், தண்டு மெலிதலும், இலைகள் அளவில் குறைதலும், வெளிர்பச்சை நிறமடைதலும் நிகழ்கின்றன. இந்த நிலைக்கு விரைந்து நீளுதல் (bolting) என்று பெயர்.

சில தாவரங்கள் குறுநாள் பொழுதில் குட்டைத்தன்மையினையும், நீள் நாள் பொழுதில் நீளும் தன்மையினையும் பெற்றுள்ளன. இவ்வகைத் தாவரங்களுக்கு ஜிப்பெரெல்லின் அளிக்கப்படும் போது

கணுவிடை நீட்சி காரணமாகக் குறுநாள் பொழுதிலேயே நீளும் தன்மையைப் பெறுகின்றன.

6.2.4.2. இளநிலையிலிருந்து முதிர் நிலை அடைதலை ஒழுங்குபடுத்துதல்

பல்லாண்டுவாழ் மரத்தாவரங்கள், குறிப்பிட்ட முதிர் நிலை அடைந்த பின்னரே பூக்கள், இனப்பெருக்க உறுப்புகள் உருவாகின்றன. இந்நிலை அடையும் வரையிலான காலம் இளநிலைப் பருவம் (juvenile phase) எனப்படுகிறது. ஊசியிலைத் தாவரங்கள் எனப்படும் கோனிஃபெர்கள் (conifers) இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும். இவற்றிற்கு இளநிலப் பருவத்தில் ஜிப்பெரெல்லின் அளிக்கப்படும் போது விரவிலேயே இனப்பெருக்க நிலைக்குச் சென்று முதிர் நிலையடைகின்றன. இவற்றில் ஜிப்பெரெல்லின் பூத்தலைத் தூண்டும் ஹார்மோனாகச் செயல்படுகிறது.

6.2.4.3. பூக்கள் தோன்றுவதிலும், பால் நிருணயித்திலும் ஜிப்பெரெல்லினால் ஏற்படும் தாக்கங்கள்.

நீள்நாள் தாவரங்களிலும், தாழ் வெப்பநிலை தேவைப்படும் தாவரங்களிலும், பூக்கள் தோன்றுவதற்கு முறையே உதவும் நீள்நாள் பொழுது, தாழ்வெப்பநிலை ஆகியவற்றிற்கு மாற்றாக ஜிப்பெரெல்லின் திகழ்கிறது. குறிப்பாக வேர் அண்மை இலையடுக்கம் பெற்ற இவ்வகைத் தாவரங்களில் ஜிப்பெரெல்லின் விளைவு சிறப்பாக உள்ளது.

ஒருபால் மலர்களைப்பெற்ற தாவரங்களின் பூக்களில் பால் நிருணயம் மரபுவழிப் பண்பாக உள்ளது. இருப்பினும், ஒளிக்காலத்துவம், ஊட்டநிலை போன்ற புறக்காரணிகளாலும் சிலசமயம் இது தீர்மானிக்கப்படுகிறது. அப்படிப்பட்ட நிலையில் இந்தப் புறக்காரணிகளால் ஏற்படும் விளைவுகள் ஜிப்பெரெல்லின் இடையீட்டால் நிகழ்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக சோளத்தாவரத்தின் கதிர்புஞ்சங்கள் (tassels) ஆண்பூக்களையும், கூலைக்கதிர்கள் (ear heads) பெண் பூக்களையும் உருவாக்குகின்றன. இத்தாவரத்தைக் குறுநாள்பொழுதிற்கும், குளிர்ந்த இரவுப் பொழுதிற்கும் உட்படுத்தும் போது கதிர்குஞ்சங்களில் ஜிப்பெரெல்லின் அளவு நூறுமடங்கு உயர்ந்து, பெண்பூக்கள் உருவாகத் தொடங்குகின்றன. இதனால் முழுத்தாவரமும் பெண்தாவரமாக மாறிவிடும் நிலை ஏற்படுகிறது. செயற்கையான முறையில் ஜிப்பெரெல்லிக் அமிலத்தைக் கதிர் குஞ்சங்களின்மேல் தெளிக்கும்போது இந்நிலை ஏற்படுவது குறிப் பிடத்தக்கது.

சடுதிமாற்ற சோளத் தாவரங்களில் பால்தன்மைக்கான மரபு வெளிப்பாடு ஜிப்பெரெல்லின் இடையீட்டால் நிகழ்வது கண்டறியப் பட்டுள்ளது. ஜிப்பெரெல்லின் உற்பத்திக்கான ஜீன் அல்லது ஜிப்பெரெல்லின் குறிப்புணர்வை ஊடுகடத்தும் ஜீன் இவற்றில் ஒன்று சடுதிமாற்றமடையும் போது கூலைக்கதிர்களில் ஆண்இன உறுப்பான மகரந்தத் தாள்கள் தோன்றுவது ஒடுக்கப்படுகிறது. மொத்தத்தில் ஆண் இன உறுப்புகள் உருவாதலை ஒடுக்குவதே இதன் முதன்மைப் பண்பாக உள்ளது.

பறங்கிக் குடும்பத் தாவரம், சணப்பை (hemp), ஸ்பைனாக் போன்ற தாவரங்களில் இதன் விளைவு எதிர்மறையாக உள்ளது, அதாவது ஆண்பூக்கள் உருவாவது தூண்டப்படுகிறது. அதேபோல், இதன் செயல்பாட்டை ஒடுக்கும் சேர்மங்கள் அளிக்கப்படும் போது பெண்பூக்கள் உருவாகத் தொடங்குகின்றன.

6.2.4.4. கனி தோன்றுவதை மேம்படுத்துதல் (Promoting Fruit Set)

ஆக்சின் எந்த விளைவையும் ஏற்படுத்தாத நிலையில் ஜிப்பெரெல்லின் அளிக்கப்படும்போது கனிதோன்றுவது மேம் பாடடைகிறது. *மாலஸ் சில்வெஸ்ட்ரிஸ்* (*Malus sylvestris*) தாவரத்தில் செய்யப்பட்ட சேதனைகள் மூலம் இது தெரிய வந்துள்ளது.

6.2.4.5. விதை முளைத்தலை மேம்படுத்துதல் (Promoting Seed Germintion)

விதை முளைத்தலின்போது கருவின் தழைஉடல வளர்ச்சியைச் செயல்படுத்துதல், முளைசூழ்திசுவினால் (endosperm) ஏற்படும் வளர்ச்சித் தடைச்செயலை நலிவடையச் செய்து வளாச்சியைத் தூண்டுதல், அதில் உள்ள சேமிப்பு உணவுகளை எளிதில் இடம்பெயரச் செய்தல் ஆகியவற்றில் ஏதாவது ஒன்று அல்லது அனைத்திற்கும் ஜிப்பெரெல்லினின் உதவி தேவைப்படுகிறது.

முளைக்கும் தானிய விதைகளுக்கு ஜிப்பெரெல்லின் அளிக்கப்படும்போது அலியூரான் அடுக்குகளில் (aleuron layers) பல்வேறு ஹைட்ரோலேஸ் நொதிகள், குறிப்பாக K–அமைலேஸ் உற்பத்தி வேகமடைகிறது.

முளைப்பதற்குத் தாழ்வெப்பநிலை தேவைப்படும் அல்லது ஒளி தேவைப்படும் விதைகளுக்கு ஜிப்பெரெல்லின் அளிக்கும்போது, இவற்றின் தேவையில்லாமலேயே முளைத்தல் தூண்டப்படுவது, குறிப்பாகப் பயிரிடப்படாத தரிசு நிலங்களில் வளரும் காட்டுத் தாவரங்களில் இது அறியப்பட்டுள்ளது.

6.2.5. ஜிப்பெரெல்லின்களின் வணிகமுறைப் பயன்பாடுகள் (Commercial Application of Gibberellins)

1. கனிகளின் உற்பத்தி மேம்பாட்டிற்குக், குறிப்பாகத் திராட்சையில் இதன் பயன்பாடு குறிப்பிடத்தக்கது. திராட்சையில் கனிகளின் காம்புகள் குட்டையாக இருக்குமேயானால் அவற்றின் வளர்ச்சி வரம்பிடப்படுவதுடன் அழுத்தப்பட்டு, நீட்சியடைதலும் தடைப்படுகிறது. அதே நேரத்தில் ஜிப்பெரெல்லின் தெளிக்கப்படும்போது காம்புகள் நீள்வதுடன், கனிகளும் நீண்டு நன்கு பருத்து வளர்கின்றன. தற்போது இதற்காக ஜிப்பெரெல்லினுடன், பென்சைல் அடினைன் என்ற சைட்டோகைனின் வகைச் சேர்மமும் சேர்ந்த கலவை கையாளப் படுகிறது. இதனால் கனிகளின் உற்பத்தி பெருகுவதுடன் கனியின் சுவைத்தன்மை சற்றும் குறையாதிருப்பதால், இது ஒரு வணிகமுக்கியத்துவம் நிறைந்த நடவடிக்கையாகக் கருதப்படுகிறது.

இதேபோல் எலுமிச்சையில் ஜிப்பெரெல்லின், கனிமுதிரும் காலத்தை ஒத்திப்போட பெரிதும் உதவுகிறது. இதனால், கனிகளை வணிகம் செய்ய ஏற்ற காலம் வரை மரத்திலேயே விட்டுவைக்க முடிகிறது.

2. பீர் உற்பத்தி செய்யும் தொழிற்சாலைகளில் இதற்காக பார்லியை நொதிக்கச் செய்வதற்கு முன்பு அதன் தரசத்தை ஓரளவு சிதைத்து மால்டாக மாற்றமடையச் செய்தல் ஒரு முக்கியமான செயலாகும். இதற்கு நீராற்பகுப்புறச் செய்யும் நொதிகளின் உற்பத்தி, குறிப்பாக அமைலேசின் உற்பத்தி, உச்ச நிலையில் இருத்தல் வேண்டும். இதற்கு ஜிப்பெரெல்லின் பெரிதும் உதவுகிறது. பார்லிக்கு இந்த நிலையை உருவாக்குவதற்கு மால்ட் ஆக்கம் (malting) என்று பெயர்.

3. கரும்பின் மகசூலைப் பெருக்க வணிக முறையில் ஜிப்பெரெல்லின் கையாளப்படுகிறது. கரும்பு, பீட்ரூட் ஆகிய இரண்டு மட்டுமே கார்போஹைட்ரேட்டைத் தரசமாகச் சேமிக்காமல் சுக்ரோசாகச் சேமிக்கின்றன. இவற்றில் கரும்பு தண்டின் கணுவிடைப்பகுதிகளில் உள்ள பாரங்கைமா செல்களின் நுண்குமிழ்ப்பைகளில் சேமிக்கின்றன. ஜிப்பெரெல்லினுக்குக் கணுவிடைப் பகுதியை ஊக்கப்படுத்தும் தன்மை இருப்பதால், பயிரிடப்பட்ட கரும்புகளுக்கு ஜிப்பெரெல்லின் அளிக்கும்போது கணுவிடை நீட்சி நிகழ்ந்து சர்க்கரை உற்பத்தி அதிகரிக்கிறது.

4. தாவரங்கள் பலவற்றின் மேம்பாட்டிலும், பெருக்கத்திலும் இதன் பங்கு குறிப்பிடத்தக்கது. பைனஸ் தாரங்களில் இனப்பெருக்க நிலையை எய்துவதற்கான காலஅளவு நீண்டு அவற்றின் பூப்படையும் பருவம்

நீளும்போது, அவற்றில் தாவரப்பெருக்கத்திற்கான செயல்முறைகளை எளிதில் கையாள முடிவதில்லை. ஆனால் இவற்றிற்கு ஜிப்பெரெல்லின் அளிக்கப்படும்போது குறுகிய காலத்திலேயே கூம்புகள் உருவாதல் தூண்டப்பட்டு, இச்செயல் முறைகளை எளிதில் செய்யமுடிகிறது. இதற்கு GA_4, GA_7 ஆகிய ஜிப்பெரெல்லின் ஹார்மோன்கள் கையாளப்படுகின்றன.

5. குக்கர்பிட்டேசி குடும்பத் தாவரங்களில், இந்த ஹார்மோனைப் பயன்படுத்தி, ஆண் மலர்களின் உருவாக்கத்தை ஊக்கப்படுத்துதல், பயிர் மேம்பாட்டிற்கு உதவும் ஒரு பண்பாகும்.

6. வேர் அருகு இலையடுக்கம் பெற்ற ஈராண்டுத் தாவரங்களான பீட்ரூட், முட்டைக்கோசு ஆகியவற்றில் இந்த ஹார்மோனைப் பயன்படுத்தி விரைந்து நீளச்செய்வதன் மூலம், பயிர்மேம்பாடு உத்திகளுக்காக வணிக முறையில் விதை உற்பத்தியைச் சில நேரங்களில் உருவாக்கமுடியும்.

7. லில்லி வகையைச்சேர்ந்த தாவரங்கள், *கிரைசாந்திமம்* என்ற செவ்வந்தி தாவரம் போன்ற பல்வேறு மலர் தரும் தாவரங்கள் அசுரத்தன்மையுடன் வளர்வது ஏற்புடைய பண்பல்ல. அப்படிப்பட்ட தாவரங்களில் தண்டு நீட்சியை நீக்க ஜிப்பெரெல்லின் செயலை ஒடுக்கும் (gibberellin inhibitors) அல்லது உற்பத்தியை ஒடுக்கும் சேர்மங்களைக் கையாளுவது ஒரு நவீன தோட்டக்கலை முறையாகும்.

8. குளிர் மற்றும் ஈரப்பதமான காலநிலையில் வளர்க்கப்படும் தானியத் தாவரங்கள் மிக நீண்டு வளரும்போது, முதிர்ந்த மஞ்சரிக் கொத்துகள் அதிக நீரைச் சுமந்து, அதனால் ஏற்படும் எடை காரணமாகத் தண்டுகள் வளைந்து எளிதில் அறுவடை செய்யமுடியாத நிலை ஏற்படுகிறது. ஜிப்பெரெல்லின் ஒடுக்கும் சேர்மங்களை இவற்றிற்கு அளிக்கும்போது, நீண்டு வளர்வது தடுக்கப்பட்டு, இச்சிரமம் தவிர்க்கப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக மரபிய குட்டைத்தன்மை பெற்ற கோதுமையிலும், இந்த நடைமுறை கையாளப்பட்டு மேலும் குட்டைத்தன்மை ஏற்படத் தூண்டுவது ஒரு வேளாண் நடவடிக்கையாகும்.

6.3. சைட்டோகைனின்கள் (Cytokinins)

காயமடைதல், பாக்டீரியங்களால் தாக்கப்படுதல் போன்ற குறைபாடு ஏதும் இல்லாத தாவரத்தின் முதிர்ந்த பாரங்கைமா செல்கள், ஃபுளோயம் திசு செல்கள் போன்றவை பொதுவாகப் பகுபடுவதில்லை. ஆனால், காயங்கள் ஏற்பட்டாலோ, பாக்டீரியங்களினால் தாக்கப் பட்டாலோ இவை பகுபடும் தன்மையைப் பெறுகின்றன. அதாவது

பிற்போக்கு வேறுபாடடைகின்றன. இதனால் இரண்டாம் நிலை ஆக்குத்திசு உருவாகிறது.

காயங்களால் தூண்டப்பட்ட மைட்டாசிஸ் பகுப்புச் சுயவரம்பிற்கு உட்பட்டது. எனவே, ஒரு சில பகுப்புகளுக்குப் பிறகு, பகுப்பினால் தோன்றிய செல்கள் பகுபடுதலை நிறுத்திக்கொண்டு மறுவேறு பாடடைகின்றன.

சுக்ரோஸ், தனிம உப்புக்கள், ஒரு சில வைட்டமின்கள் மட்டுமே கொண்ட ஊடகத்தில் தக்காளித் தாவரத்தின் வேர்களால், வரம்பற்ற வளர்ச்சியைத் திசு வளர்ப்பு முறையில் வெளிப்படுத்த முடிகிறது. அதேசமயம், தண்டுத் திசுக்கள் இவ்வித வரம்பற்ற வளர்ச்சியை ஏற்படுத்த முடிவதில்லை. இவ்வளர்ப்பு ஊடகத்தில் ஆக்சின் ஹார்மோன் சேர்த்தபோது தூண்டப்பட்ட வளர்சியும், தோன்றிய செல்களின் அளவுப்பெருக்கத்தால் ஏற்பட்ட ஒன்றே தவிர, செல்பகுப்பால் ஏற்பட்ட வளர்ச்சியல்ல என்பதும் தெரியவந்தது. இந்த உண்மைகளை ஃபிலிப் ஒயிட் (Philip White) என்பவர் 1930இல் கண்டறிந்தார்.

ஆனால் மேற்கூறப்பட்ட தண்டுத் திசு வளர்ப்பிறகு ஒரு குறிப்பிட்ட ஹார்மோன் அளிக்கும்போது, வேற்றிட வேர்கள் உருவாவது நிகழ்ந்ததும், தண்டின்வளர்ச்சி மீண்டும் தொடங்கி முழுத்தாவரமும் உருவாக்கப்படுகிறது. இந்தக் குறிப்பிட்ட ஹார்மோன் செல்பகுப்பைத் தூண்டக்கூடிய, குறிப்பாக சைட்டோபிளாசப் பகுப்பைத் தூண்டக்கூடிய ஹார்மோனாகும். எனவே, இப்பொருளை உணர்த்தும் வகையில் இதற்கு சைட்டோகைனின் என்ற பெயர் சூட்டப்பட்டது. வேர் உருவானதும் இயல்பாகவே வேரினுள் இந்த ஹார்மோன் உருவாகி விடுவதால் திசுவளர்ப்பின் போது வளர்ச்சி நிரந்தரமாகி விடுகிறது.

வாஸ்குலத் திசுவில், நீரில் கரைந்து, பரவுதலடையக் கூடிய ஏதோ ஒரு காரணி உள்ளது என்றும், வேருக்கு அருகில் வெட்டப்பட்ட தண்டிலிருந்து கசிந்து வரும், இக்காரணியைப் பெற்ற திரவத்தைக் கொண்டு, உருளைக்கிழங்கின் காயப்பட்ட பகுதியில் செல்பகுப்பைத் தூண்ட முடியும் என்பதை 1913ஆம் ஆண்டிலேயே ஹேபர்லாண்ட் (Haberlandt) என்பவர் கண்டறிந்தார் என்றாலும், இது சைட்டோ கைனினால் ஏற்பட்ட விளைவு என்பதை அறிந்திருக்கவில்லை.

தண்டுத்திசு வளர்ப்பின்போது ஊடகத்திற்குத் தக்காளிச் சாறு சேர்க்கப்படும்போது, செல்பகுப்பு ஊக்கப்படுகிறது, ஆனால், தொடர்ந்து இது நிகழ்வதில்லை என்பதையும், தொடர்ந்து செல்பகுப்பை நிகழ்த்தி, பல்வேறு திசுக்களின் வேறுபாடடைந்த செல்களை உருவாக்கும் தகுதி,

தென்னையின் நீர்ம முளைசூழ்திசுவான இளநீருக்கே அதிகம் உண்டு என்பதையும் கால்ப்லின் ஸ்டீவார்டு (Calplin Steward) என்பவர் 1948இல் மெய்ப்பித்தார்.

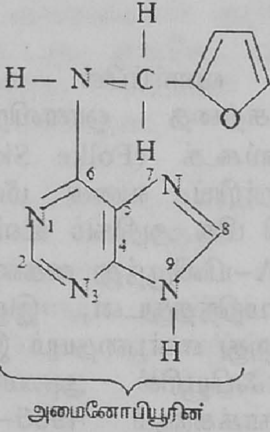
உட்கரு அமிலத்தின் அடினைனுக்கு, வளர்ப்பில் உள்ள புகையிலைச் சோற்றுத் திசுவின் பெருக்கத்தை ஓரளவிற்குச் செயல்படுத்த முடியும் என்பதை ஃபோல்கி ஸ்கூக் (Folke Skoog) என்பவர் 1950–இல் கண்டறிந்ததுடன், ஹெர்ரிங் வகை மீனின் வெப்பச்சிதைவுற்ற விந்து DNA-விற்கு இத்தகுதி மிக அதிகம் உள்ளது என்பதையும் கண்டறிந்தார். பின்னர் இந்த DNA–யிலிருந்து கைனடின் என்ற மிகச்சிறிய கரிமச் சேர்மத்தை இனமறிந்ததுடன், இதுவே செல்பகுப்பைத் தூண்டும் காரணியாகத் திகழ்கிறது என்பதையும் இவர் கண்டறிந்தார். வேதியமைப்பில் இது 6–பர்ஃபியூரில் அமைனோ பியூரின் என்பதை மில்லரும் அவரது சகாக்களும் 1955–இல் மெய்ப்பித்தனர்.

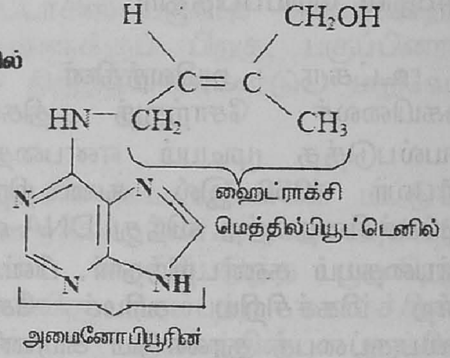
அதன்பின்னர், இளம் மக்காச்சோள விதைகளின் முளைசூழ்திசுவில் கைனடின் இருப்பதை 1973–ஆம் ஆண்டு லீத்தம் (Letham) என்பவர் கண்டறிந்ததுடன், இது ஆக்சினுடன் சேர்ந்து வேறுபாடடைந்த முதிர்ந்த செல்களையும் பகுப்படையத் தூண்டுகிறது என்பதையும் இவர் கண்டறிந்தார். இந்த ஜியாடினே உண்மையான சைட்டோகைனின் எனப்படுகிறது.

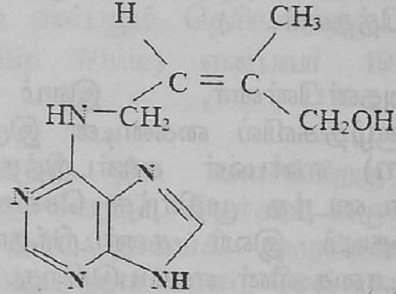
6.3.1. சைட்டோகைனின்களின் வேதியமைப்பு

அனைத்து உயர்தாவரங்களிலும் காணப்படும் சைட்டோகைனினாக, சோளத்தில் கண்டறியப்பட்ட ஜியாடின் கருதப்பட்டது. மில்லர் கண்டறிந்த கைனடினைப்போல், ஜியாடினும் அமைனோபியூரினிலிருந்து உருவான ஒரு சேர்மமாகும். ஆனால், கைனடினில் இருப்பதுபோல், அமைனோபியூரினின் ஆறாவது கார்பனுடன் ஃபர்ஃபியூரில் தொகுப்பு இணைந்திராமல், ஹைட்ராக்சி மெத்தில் பியூட்டெனில் தொகுப்பு இணைந்திருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது (படம்–42). இரட்டைச் சகப்பிணைப்புற்ற இரு கார்பன்கள் இதில் இருப்பதால், இது டிரான்ஸ் (*trans*), சிஸ் (*cis*) என இரு வகைகளில் காணப்படுகிறது.

படம் –42

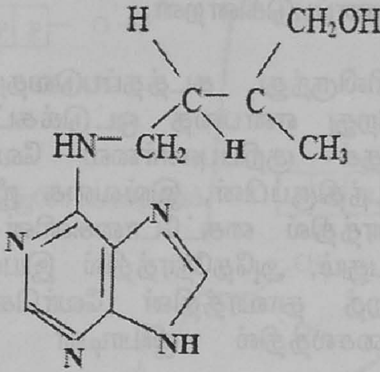




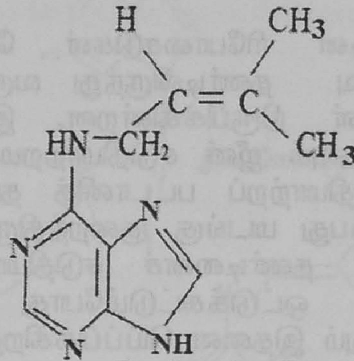


ஜியாடினில் உள்ள ஹைட்ராக்சி மெத்தில் பியூட்டெனில் தொகுப்பிற்குப் பதிலாக வேறுசில சேர்மங்கள் இணைந்த கைனடின்கள் இருப்பது தற்போது தெரியவந்துள்ளது. இவற்றுள் டைஹைட்ரோ ஜியாடின் (dihydrozeatin), ஐசோபெண்டினில் அடினைன் (isopentenyl adenine) ஆகியவை குறிப்பிடத்தக்கவை (படம் –43).

படம்–43



டைஹைட்ரோ ஜியாடின்



ஐசோபெண்டினில் அடினைன்

தாவரங்களில் ஜியாடின், டைஹைட்ரோஜியாடின், ஐசொபெண்டினில் அடினைன் ஆகிய அனைத்தும் ரிபோசைடுகளாகவோ, ரிபோடைடுகளாகவோ அல்லது கிளைகோசைடுகளாகவோ காணப்படுகின்றன. ரிபோஸ் சாக்கரை மூலக்கூறு, பியூரின் சேர்மமாகிய அடினைனின் 9–ஆவது இலக்கிலுள்ள நைட்ரஜனுடன் இணைந்திருப்பின், ரிபோசைடுகள் உருவாகின்றன. இவற்றின் ரிபோஸ் சர்க்கரையுடன் ஃபாஸ்ஃபேட் இணைந்திருப்பின் அவை ரிபோடைடுகள் எனப்படுகின்றன. ரிபோஸ் தவிர பிற சர்க்கரைகள் பியூரின் அடியின் 3, 7 அல்லது 9–ஆவது இலக்கிலுள்ள நைட்ரஜனுடன் இணைந்திருந்தால் கிளைகோசைடுகள் உருவாகின்றன.

6.3.2. சைட்டோகைனின்கள் உற்பத்தியாகும் தாவரப்பகுதிகளும் கடத்தப்படும் முறையும்.

சைட்டோகைனின்கள் உருவாகும் முக்கிய இலக்காகத் திகழ்வது வேர்நுனி ஆக்குத்திசுப் பகுதியாகும். வேரில் உற்பத்தியாகும் இவை தண்டுத்தொகுப்பின் சைலத்தில் நீர், தனிமங்கள் ஆகியவற்றுடன் சேர்ந்து கடத்தப்படுகின்றன. வேர் அருகில் வெட்டப்பட்ட தண்டு முனையின் சைலத்திலிருந்து கசிந்து வரும் திரவத்தைப் பகுப்பாய்வு செய்ததன் மூலம் இது உறுதி செய்யப்பட்டது. வேர் தவிர வேறு சில தாவர உறுப்புகளும் இவற்றை உற்பத்தி செய்வது தெரியவந்துள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, சோளத்தின் இளம் கருக்கள், கனி உருவாகும்போது தோன்றும் இளம் பிஞ்சுகள், இளம் தளிர் இலைகள் ஆகியவையும் இவற்றை உற்பத்தி செய்கின்றன.

சைலம் கசிவுத்திரவத்தில் காணப்படும் சைட்டோகைனின்கள் பெருமபாலும் ஜியாடின் ரிபோசைடுகளாகத் திகழ்கின்றன. இலைகளை வந்தடைந்ததும் இவை ஹைட்ராக்சி மெதில்பியூட்னில் அமைனோ

பியூரின்களாக மாறுகின்றன அல்லது குளூகோசைடுகளாக மாறுகின்றன. இலைகளிலும் விதைகளிலும் சைட்டோகைனின் குளூகோசைடுகள் அதிக செறிவில் காணப்படுகின்றன.

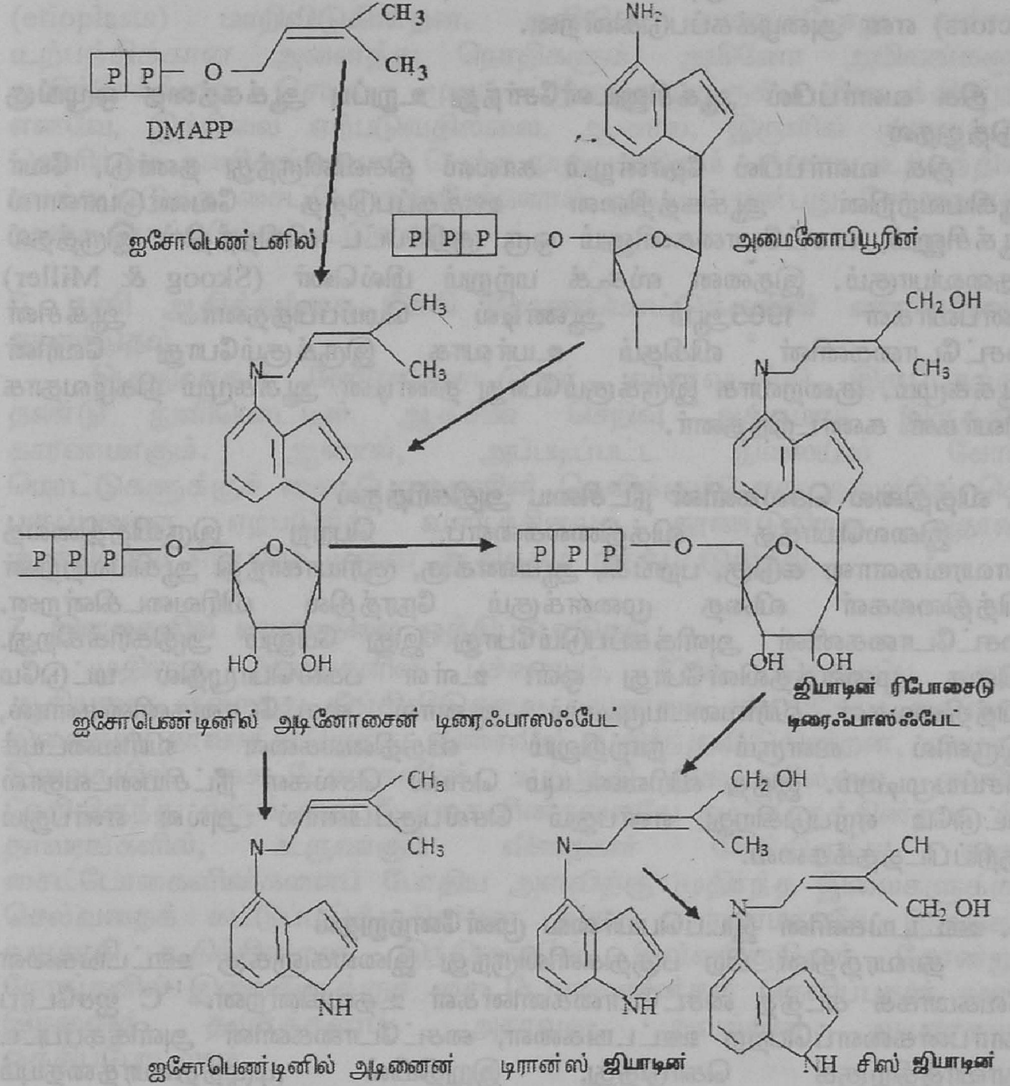
ஜியாடின் ரிபோசைடுகள் வேரிலிருந்து கடத்தப்படுவதற்கான குறிப்புணர்வு தண்டிலிருந்து வருகிறது என்பதை ஒட்டுக்கட்டுதல் சோதனைகள் நிரூபிக்கின்றன. இந்தக் குறிப்புணர்வை வேருக்கு அனுப்ப உதவும் ஜீன் சடுதிமாற்றமடைந்திருப்பின், இவ்வகை ஜீனைப் பெற்ற சடுதிமாற்றப் பட்டானித் தாவரத்தில் சைட்டோகைனின்களின் அளவு நாற்பது மடங்கு குறைந்திருப்பதும், அதேநேரத்தில் இயல்பான தாவரத்தின் தண்டினைச் சடுதிமாற்றத் தாவரத்தின் வேர்கொண்ட தண்டுடன் ஒட்டுக்கட்டும்போது சைலத்தில் ஜியாடின் அளவு அதிகரிப்பதும் இதனை மெய்ப்பிக்கிறது.

6.3.3. சைட்டோகைனின்கள் உற்பத்திமுறை

அடினோசைனுடன் ஐசோபெண்டினில் தொகுப்பு இணையும்போது சைட்டோகைனின்கள் உருவாகின்றன. அடினோசைன்கள் தாவரங்களில் உற்பத்தியாகும் எளிதில் கிடைக்க்கூடிய பியூரின் சேர்மங்களாகும். ஐசோபெண்டினில் தொகுப்பு டைமெத்தில்அலில் டைஃபாஸ்ஃபேட் (DMAPP) என்ற சேர்மத்திலிருந்து பெறப்படுகிறது. தாவரங்களில் ஐசோபிரின்களின் உற்பத்திக்கு அடிப்படையாகத் திகழ்வது இந்த DMAPP சேர்மங்களாகும். பைரூவேட்டும், கிளிசரால்டிஹைடு–3–ஃபாஸ்ஃபேட்டும் இணைந்து உருவாகும் ஒரு சேர்மம் DMAPP-யாகும்.

சைட்டோகைனின்களுக்குத் தேவையான ஐசோபெண்டினில் பக்கச்சங்கிலியை DMAPP-யிலிருந்து அடினோசைனுக்கு மாற்ற, அடினோசைன் டிரைஃபாஸ்ஃபேட் ஐசோபெண்டினில் டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது. இதனால் உருவாகும் முதல் சேர்மம் ஐசோபெண்டினில் அடினோசைன் டிரைஃபாஸ்ஃபேட்டாகும் (iPTP). இது பின்னர் ஜியாடின் டிரைஃபாஸ்ஃபேட்டாக (ZTP) மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு தோன்றிய iPTP, ZTP ஆகியவை படிப்படியாக மூன்று ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளையும் இழந்து, இறுதியில் பெண்டோஸ் சர்க்கரையையும் அகற்றிக்கொண்டு முறையே ஐசோபெண்டினில் அடினைன், ஜியாடின்(டிரான்ஸ் அல்லது சிஸ் வகை) என்ற சைட்டொகைனின்களாக மாறுகின்றன (படம்.44)

படம்-44



6.3.4. சைட்டோகைனின்களால் விளையும் வாழ்வியல் செயல்கள்

1. தண்டு, வேர் ஆகியவற்றில் செல் பிரிதலை ஒழுங்குபடுத்துதல்

இவை திசு வளர்ப்பின்போது செல்பிரிதலை நிகழ்த்தத் தேவைப்படும் முக்கிய ஹார்மோன்கள் ஆகும். அத்துடன் இவை தாவரத்தின் தண்டு, வேர் ஆகியவற்றின் ஆக்குத்திசுக்களில் செல்பிரிதல் செயலை ஒழுங்கு படுத்தும் ஹார்மோன்களாகவும் திகழ்கின்றன. செல்பிரிதலின் நிலைகள் அடங்கிய செல் சுழற்சியின் ஒவ்வொரு நிலையிலும், குறிப்பாகச் சைட்டோபிளாசப் பகுப்பை நிகழ்த்துவதில், இவற்றின் பங்கு குறிப்பிடத்தக்கதாக உள்ளது.

எனவேதான் இவை முதன்மை செல்பிரிதல் காரணிகள் (cell division factors) என அழைக்கப்படுகின்றன.

2. திசு வளர்ப்பில் ஆக்சினுடன்சேர்ந்து உறுப்பு ஆக்கத்தை ஒழுங்கு படுத்துதல்

திசு வளர்ப்பில் தோன்றும் காலஸ் திசுவிலிருந்து தண்டு, வேர் ஆகியவற்றின் ஆக்கத்தினை ஊக்கப்படுத்த வேண்டுமானால் ஆக்சினும், சைட்டோகைனினும் ஒரு குறிப்பட்ட விகிதத்தில் இருத்தல் தேவையாகும். இதனை ஸ்கூக் மற்றும் மில்லெர் (Skoog & Miller) என்பவர்கள் 1965ஆம் ஆண்டில் மெய்ப்பித்தனர். ஆக்சின் சைட்டோகைனின் விகிதம் உயர்வாக இருக்கும்போது வேரின் ஆக்கமும், குறைவாக இருக்கும்போது தண்டின் ஆக்கமும் நிகழ்வதாக இவர்கள் கண்டறிந்தனர்.

3. வித்திலை செல்களின் நீட்சியை அதிகரித்தல்

இலையொத்த வித்திலைகளைப் பெற்ற இருவித்திலைத் தாவரங்களான கடுகு, பறங்கி, ஆமணக்கு, சூரியாகாந்தி ஆகியவற்றின் வித்திலைகள் விதை முளைக்கும் நேரத்தில் விரிவடைகின்றன. சைட்டோகைனின் அளிக்கப்படும்போது இது மேலும் அதிகரிக்கிறது. விதை முளைத்தலின்போது ஒளி உள்ள பகல்பொழுதில் மட்டுமே வித்திலைகள் விரிவடையமுடியும். ஆனால், சைட்டோகைனின்களால், இருளில் வளரும் நாற்றிலும் வித்திலைகளை விரிவடையச் செய்யமுடியும். இந்த விரிவடையும் செயல் செல்கள் நீட்சியடைவதால் மட்டுமே ஏற்படுகிறது என்பதும் செல்பகுப்பினால் அல்ல என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கவை.

4. ஊட்டங்களின் இடப்பெயர்வை முன்னேற்றுதல்

தாவரத்தின் பிற பகுதிகளிலிருந்து இலைகளுக்கு ஊட்டங்களை வேகமாகக் கடத்த சைட்டோகைனின்கள் உதவுகின்றன. ^{14}C ஐசடோப் கார்பன்களைப்பெற்ற ஊட்டங்களை, சைட்டோகைனின் அளிக்கப்பட்ட தாவரத்திற்குக் கொடுத்து, இறுதியில் முழுத்தாவரத்தையும் கதிரியக்கப்படமெடுப்பு (autoradiography) மூலம் ஆய்வு செய்த பின்னர் இது மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

5. பசுங்கணிகங்களின் உருவாக்கத்தை ஊக்கப்படுத்துதல்

இருளில் முளைக்கும் தாவரங்களின் புற அமைப்பு, ஒளியில் முளைக்கும் தாவரங்களிலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்டுள்ளது. குறிப்பாக இலைகள் அளவில் சிறுத்தும், பச்சையத்தை இழந்து வெளிர் மஞ்சள் நிறத்துடனும் காணப்படும். இவ்இலைகளில் பசுங்கணிகங்கள் முதிர்ச்சி அடையாததுடன், அவற்றின் கணிக முன்னோடிகள் (proplastids)

பச்சைய நிறமிகளை உற்பத்தி செய்யாது வெளிர்த்த கணிகங்களாக (etioplasts) மாறிவிடுகின்றன. ஒளியில் வளரும்போது பச்சைய உற்பத்திக்கான அனைத்து நொதிகளும், அமினோ அமிலங்களும், ஒளிச்சேர்க்கை செயல் மூலம் இலைகளுக்குக் கிடைக்கின்றன. எனவே, இந்நிலை ஏற்படுவதில்லை. ஆனால், இருளில் முளைக்கும், வெளிர்த்த கணிகங்களைப் பெற்ற நாற்றுகளிலும் பச்சைய உற்பத்தியை ஊக்கப்படுத்த சைட்டோகைனின்களால் முடியும் என்பது சோதனைகள் மூலம் மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

6. நுனி ஆதிக்கத்தை நீக்கி கோணமொட்டுக்களின் வளர்ச்சியைத் தூண்டுதல்

பொதுவாகக் கோணமொட்டுகள், வளர்வடங்கி இருப்பதற்குத் தண்டு நுனிமொட்டில் ஆக்சின் செறிவு அதிகமாக இருத்தலே காரணமாகும். ஆனால், அப்படிப்பட்ட நிலையில் கோண மொட்டுகளுக்குச் சைட்டோகைனின் தெளிக்கும்போது அவற்றில் செல் பகுப்புகளை ஏற்படுத்தி வளர்ச்சியைத் தூண்டுகிறது. அதாவது ஆக்சினால் ஏற்படும் முனை ஆதிக்கம் நீக்கப்படுகிறது.

7. இலைகளில் வயதாதலை ஒத்திப்போடுதல்

முதிர்ந்த இலைகளில் பச்சையம், RNA, கொழுப்பு, புரதம் ஆகியவை குறைந்து நீங்கிவிடுதலை வயதாதல் என்கிறோம்.அவ்வகை இலைகள் தாவரத்திலிருந்து விரைவில் உதிர்ந்துவிடுகின்றன. வயதான இலைகளில் சைட்டோகைனின் உற்பத்தி நிகழ்வதில்லை. எனவே, வேரிலிருந்து வரும் சைட்டோகைனின்களையே நம்பியிருக்கின்றன. சில தாவரங்களில், உருவாகும் விதைகள் வேரிலிருந்து வரும் சைட்டோகைனின்களைப் போதிய அளவிற்கு முதிர்ந்த இலைகளுக்குச் செல்வதைக் கட்டுப்புடுத்துகின்றன. இதன் காரணமாகவே இலைகள் வயதாகி உதிர்கின்றன. இந்நிலையில், இவ்வறிகுறிகள் தோன்றும் நேரங்களில் இலைகளுக்குச் சைட்டோகைனின்கள் தெளிப்பதன் மூலம் இதனைத் தவிர்க்கலாம். அதாவது, அவற்றின் வயதாதலை ஒத்திப்போடலாம்.

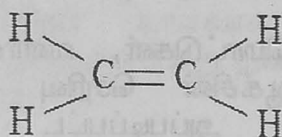
6.4. எத்திலின்: வளிநிலையுரு ஹார்மோன்(Ethylene: Gaseous hormone)

ஆரஞ்சுப்பழங்கள் சேமித்துவைக்கப்பட்டிருந்த அறையில் இருந்த வாழைப்பூங்கள் விரைந்து பழுத்துவிட்டதைக் கசின்ஸ் (Cousins) என்பவர் கண்ணுற்றார். இதற்குக் காரணம் ஆரஞ்சுப்பழங்களைத் தாக்கியிருந்த பெனிசிலியத்தில் இருந்து அதிக அளவில் வெளிப்பட்ட எத்திலின் வளி மூலக்கூறுகளே என்பது பின்னர் தெரியவந்தது. அதன் பிறகு 1934ஆம் ஆண்டில் ஆர். காணி (R. Gani) என்பவர்

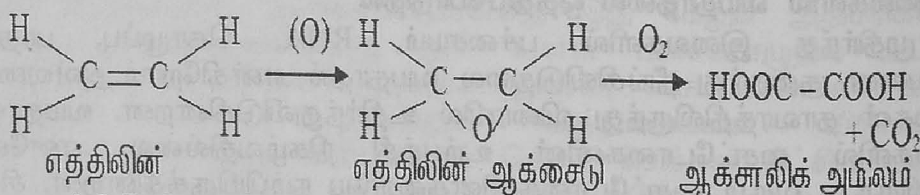
தாவரங்களில், வளர்சிதை மாற்ற இயற்கை விளைபொருளாகத் தாவரங்களில் எத்திலின் உருவாகின்றன என்பதைக் கண்டறிந்து, அதையும் தாவர ஹார்மோன் பட்டியலில் இணைத்தார். எனவே, எத்திலின் தாவரங்களில் உருவாகும் வளிநிலையிலுள்ள ஒரு ஹார்மோனாகும்.

6.4.1. எத்திலினின் வேதியமைப்பும் பரவு முறையும்

குறைவான மூலக்கூறு எடை கொண்ட, மிக எளிய ஒலிஃபின் சேர்மமாக எத்திலின் விளங்குகிறது. CH_4 என்ற மூலக்கூறு வாய்பாடு கொண்ட இதன் அமைப்பு வாய்பாடு பின்வருமாறு:



எளிதில் எரியும் தன்மையும், ஆக்சிஜனேற்றமடையும் தன்மையும் பெற்ற இது, பெரும்பாலான தாவரத் திசுக்களில் முழுமையாக ஆக்சிஜன் ஏற்றமடைந்து CO_2 –வை வெளியேற்றி கீழ்க்கண்டவாறு சிதைகிறது.



எத்திலின் எத்திலின் ஆக்சைடு ஆக்சாலிக் அமிலம்

எத்திலின் திசுக்களிலிருந்து எளிதில் வெளியேறிச் செல் இடைவெளிகளில் வளியுருவில் வெளிப்பட்டு, பின்னர் உறுப்பகளிலிருந்து வெளியேற்றப்படுகிறது. எத்திலின் மிகக்குறைந்த செறிவிலேயே, அதாவது 1ppM–க்குக் (1: LL^{-1}) குறைவான செறிவிலேயே உயிரிய விளைவுகளை ஏற்படுத்தும் திறன் கொண்டது. நன்கு பழுத்த ஆப்பிள் பழத்தில் 2500 : LL^{-1} என்ற அளவில் எத்திலின் வெளிப்படுவதாக அறியப்பட்டுள்ளது.

திசுக்களிலிருந்து இது எளிதில் வெளியேறி மிகவேகமாகக் காற்றில் பரவுவதால், கனிகள், காய்கறிகள், மலர்கள் ஆகியவற்றைச் சேகரிக்கும் கிடங்குகளில், அவை விரவில் முதிர்ந்து கெட்டுவிடாமல் இருக்க, எத்திலினைச் சிறை பிடிக்கும் நடவடிக்கைகள் கையாளப்படுகின்றன. இதில் ஒன்றுதான், பொட்டசியம் பெர்மாங்கனேட்டைத் தளத்தில் தூவுதலாகும். ஏனெனில் பெர்மாங்கனேட்டிற்கு எத்திலினை எளிதில் ஈர்க்கும் தன்மை உண்டு. சேமிக்கப்படும் காய் கனிகனில் ஏதேனும் சில, பூஞ்சைகளால் தாக்குண்டு சிதைந்து, அதன் மூலம் வெளிப்படும் எத்திலினால்

மற்றவை விரைவிலேயே முதிர்ந்து விடாது பாதுகாக்க இச் செயல்முறை உதவுகிறது.

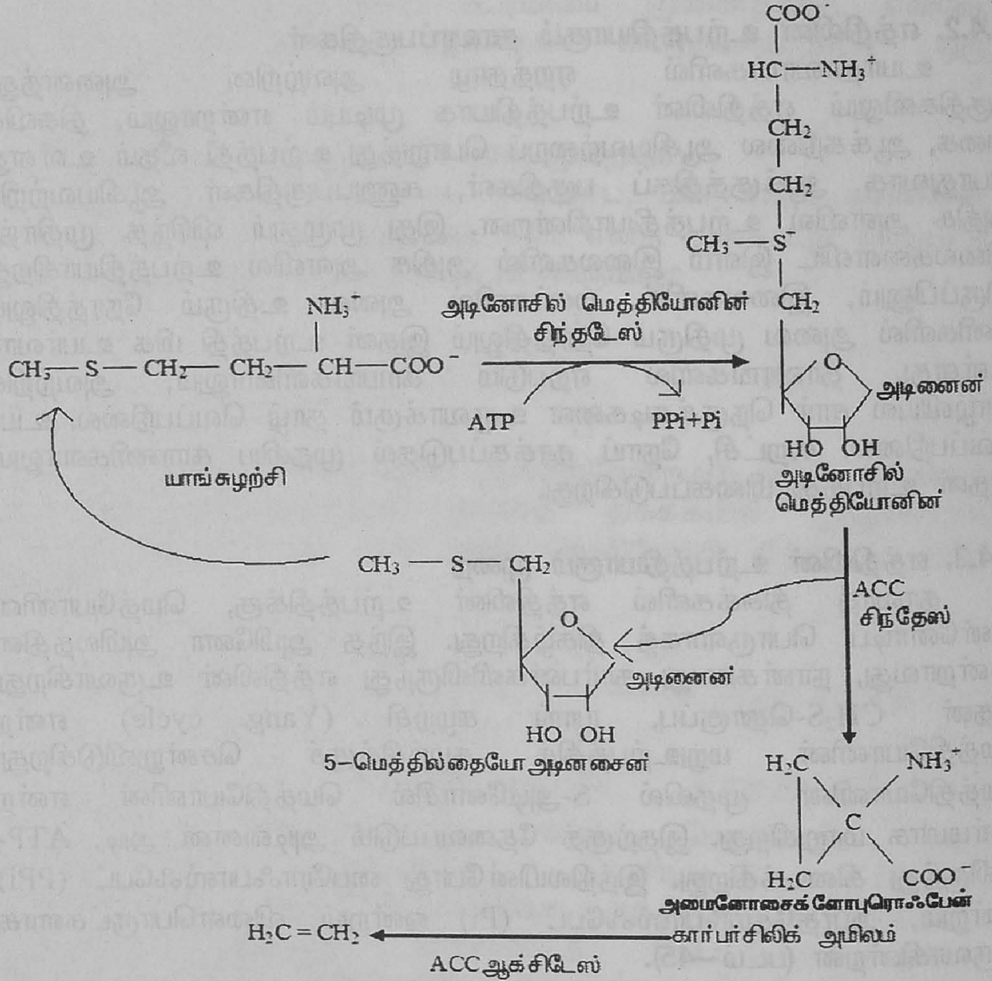
6.4.2. எத்திலின் உற்பத்தியாகும் தாவரப்பகுதிகள்

உயர்தாவரங்களில் ஏறத்தாழ அவற்றின் அனைத்துப் பகுதிகளிலும் எத்திலின் உற்பத்தியாக முடியும் என்றாலும், திசுவின் வகை, ஆக்கநிலை ஆகியவற்றைப் பொறுத்து உற்பத்தி வீதம் உள்ளது. பொதுவாக ஆக்குத்திசுப் பகுதிகள், கணுப்பகுதிகள் ஆகியவற்றில் அதிக அளவில் உற்பத்தியாகின்றன. இது முழுதும் விரிந்த, முதிர்ந்த இலைகளைவிட இளம் இலைகளில் அதிக அளவில் உற்பத்தியாகிறது. இருப்பினும், இலைகளில், மலர்களில் அவை உதிரும் நேரத்திலும, கனிகளில் அவை முதிரும் நேரத்திலும் இதன் உற்பத்தி மிக உயர்வாக உள்ளது. தாவரங்களில் ஏற்படும் காயங்களினாலும், அவற்றில் வாழ்வியல் சார் நெருக்கடிகளை உருவாக்கும் தாழ் வெப்பநிலை, உயர் வெப்பநிலை, வறட்சி, நோய் தாக்கப்படுதல் முதலிய காரணிகளாலும், இதன் உற்பத்தி மிகைப்படுகிறது.

6.4.3. எத்திலின் உற்பத்தியாகும் முறை

தாவரத் திசுக்களில் எத்திலின் உற்பத்திக்கு, மெத்யோனின் முன்னோடிப் பொருளாகத் திகழ்கிறது. இந்த அமினோ அமிலத்தின் மூன்றாவது, நான்காவது கார்பன்களிலிருந்து எத்திலின் உருவாகிறது. இதன் CH_2S-தொகுப்பு, யாங் சுழற்சி (Yang cycle) என்ற மெத்தியோனின் மறுஉற்பத்திச் சுழற்சிக்குச் சென்றுவிடுகிறது. மெத்தியோனின் முதலில் S-அடினோசில் மெத்தியோனின் என்ற சேர்மமாக மாறுகிறது. இதற்குத் தேவைப்படும் அடினைன் அடி, ATP-யிலிருந்து கிடைக்கிறது. இந்நிலயின்போது பைரோஃபாஸ்ஃபேட் (PPi) ஒன்றும், ஆர்த்தோஃபாஸ்ஃபேட் (Pi) ஒன்றும் விளைபொருட்களாக உருவாகின்றன (படம்–45).

படம்–45



அடுத்த நிலையில் அடினோசில் மெத்தியோனின்-ACC-சிந்தேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால், 1-அமினோ சைக்ளோபுரோஃபேன்-1-கார்பாக்சிலிக் அமிலமாக (ACC) மாற்றப்படுகிறது. பின்னர் ACC-ஆக்சிடேஸ் என்ற நொதியியைப் பயன்படுத்தி ACC-ஆக்சிஜன் ஒடுக்கமடைந்து எத்திலின் உருவாக்கப்படுகிறது. இந்நிலையின்போது CO_2, HCN ஆகியவை துணை-விளைபொருட்களாகத் தோன்றுகின்றன.

6.4.4. எத்திலினால் நிகழும் வாழ்வியல் விளைவுகள்

i) கனிகளில் பழுத்தலை விரைவுபடுத்துதல்

ஒரு சில கனிகளில் பழுக்கும் நேரங்களில் அதிக அளவில் எத்திலின் உருவாகிறது. இதைத் தொடர்ந்து திசுக்களில் சுவாசச் செயலும் உயர்கிறது. இதற்குக் கிளைமாக்டெரிக் உயர்வு என்று பெயர்.

இவ்வகை கனிகளுக்குக் கிளைமாக்டெரிக் கனிகள் என்று பெயர். பழுத்தலின்போது இதனைச் செய்யாத கனிகளுக்குக் கிளைமாக்டெரிக் அல்லாத கனிகள் என்று பெயர்.

முதிரா நிலையிலுள்ள கிளைமாக்டெரிக் கனிகளுக்கு எத்திலின் அளிக்கும்போது கிளைமாக்டெரிக் உயர்வு துரிதமடைவதுடன், எத்திலின் உற்பத்தியும் அதிகரித்து விரைவில் பழுக்கின்றன. கிளைமாக்டெரிக் அல்லாத கனிகளுக்கு முதிரா நிலையில் எத்திலின் அளிக்கும்போது சுவாசச்செயல் உயர்கிறது; ஆனால் எத்திலின் உற்பத்தி தூண்டப்படுவதில்லை. எனவே கனிகள் பழுப்பதில்லை.

ACC-சிந்தேஸ் அல்லாத ACC-ஆக்சிடேஸ் நொதி உற்பத்திக்கு உதவும் mRNA-வை மரபுணர்த்தா நிலைக்கு மாற்றும் விதத்தில், மரபுப் பொறியியல் மூலம் தக்காளியில் உருவாக்கப்பட்ட ஜீன் மாற்றுத் தாவரத்தில் எத்திலின் உற்பத்தி நிகழாத காரணத்தால், கனிகள் பழுத்தல் தவிர்கப்படுகிறது. கனிகள் முதிர்ந்து பழுப்பதற்கு எத்திலின் இன்றியமையாதது என்பதை இது மெய்ப்பிக்கிறது.

ii) இலைகளில் எபிநாஸ்டிக் (epinastic) இயக்கத்தை உண்டாக்குதல்.

தனிம நெருக்கடி, நோயூக்கிகளின் தொற்று, நீர் தேங்குநிலையால் வேர்த்தொகுப்பு காற்றில்லா சூழலுக்கு ஆளாகுதல் போன்ற நிலைகளில் தண்டுத் தொகுப்பில் எத்திலின் உற்பத்தி அதிகமாகி இலைகள் எபிநாஸ்டிக் இயக்கத்தைக் காட்டுகின்றன.

தக்காளித் தாவரத்தின் வேர்த்தொகுப்பைச் சூழ்ந்து நீர் தேங்கி காற்றில்லாச் சூழல் ஏற்படும்போது, வேரினுள் போதிய அளவு ஆக்சிஜன் செல்ல இயலாததால், எத்திலின் உற்பத்தியின்போது தோன்றும் இடைப்பொருளான அமைனோ சைக்லோபுரோஃபேன் ஆக்சாலிக் அமிலம் (ACC) அதிக சேர்க்கை அடைகிறது. இந்த ACC ஆக்சிஜனேற்றம் அடைந்தால்தான் எத்திலின் உருவாக முடியம். ஆக்சிஜன் இல்லாத நிலையில் இதன் சேர்க்கை உயர்கிறது. இது உடனடியாகத் தண்டுத் தொகுப்பை அடைந்து அங்கு சேர்க்கை அடைவதுடன் எத்திலினாக மாற்றப்படுகிறது. இதன் காரணத்தால்தான் இலைகளில் எபிநாஸ்டிக் இயக்கம் (தூண்டல் வரும் திசை நோக்கியல்லாது எல்லா திசைகளிலும் ஏற்படும் இயக்கம்) தோன்றுகிறது.

iii) விதைகள், மெட்டுகள் ஆகியவற்றின் உறக்கத்தை நீக்க உதவுதல்

முளைப்பதற்கான உகந்த சூழல் இருந்த நிலையிலும் விதைகள் முளைக்காதிருப்பின், அந்நிலை விதை உறக்கம் எனப்படுகிறது. தானிய விதைகளில் இந்த விதை உறக்கத்தை நீக்கி, முளைத்தலை

தொடக்கிவைக்க எத்திலின் உதவுகிறது. நிலக்கடலைத் தாவரத்தில் விதை உறக்கத்தை நீக்குவதுடன், விதைகளின் முளைப்புத்திறனையும் அதிகரிக்க எத்திலின் உதவுகிறது. மொட்டுகளின் உறக்கத்தை நீக்கி அவற்றைத் துரிதமாக வளரச்செய்வதற்கு எத்திலின் கையாளப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, உருளைக்கிழங்குகளில் மொட்டுவிடுதலைத் தூண்ட எத்திலின் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

iv) நீர்மூழ்குத்தாவரங்களின் நீள் வளர்ச்சியத் தூண்டுதல்

தரைமேல் தண்டின் நீட்சிக்கு எத்திலின் உதவுவதில்லை என்றாலும், நீர்மூழ்குத்தாவரங்களின் தண்டு, இலைக்காம்பு, ஆகியவற்றின் நீள் வளர்ச்சியினைத் தூண்ட இது உதவுகிறது. நீரினுள் ஆக்சிஜன் அளவு குறைவாக இருப்பினும், நீர்மூழ்குத்தாவரங்களின் காற்றறைகளில் உள்ள ஆக்சிஜன் எத்திலின் உற்பத்திக்குத் தடைவிதிப்பதில்லை. அத்துடன், நீர் சூழ்ந்த நிலையில் எத்திலின் தாவரத்தை விட்டு பரப்பு ஆவியாதல் மூலம் வெளியேற்றப்படுவது தடைப்படுகிறது. இதனால், அதன் செறிவு அதிகமாகி, நீர்மூழ்குத்தாவரங்களின் தண்டு நீட்சி ஏற்படுகிறது.

v) வேற்றிடவேர்கள் உருவாதலைத் தூண்டுதல்

தாவரத்தின் தண்டுப் பகுதிமட்டுமல்லாமல், இலை, பூக்காம்பு ஆகிய பகுதிகளில் வேற்றிடவேர்களைத் தோற்றுவிக்க எத்திலின் உதவுகிறது. அதேபோல், வேரில் வேர்த்தூவிகளின் உருவாக்கத்தை அதிகரிக்கச் செய்யவும் உதவுகிறது.

vi) டிரக்கிய அங்கங்களின் வேறுபாடுறுதலிலும் எத்திலீன் பெரும் பங்கு வகிக்கிறது.

6.5. அப்சிசிக் அமிலம் (Abscisic acid)

தாவர வளர்ச்சியின் பரவெல்லை, காலம் ஆகியவை, நேர்மறை மற்றும் எதிர்மறை ஒழுங்குபடுத்தும் காரணிகளின் ஒருங்கிணைந்த செல்பாடுகளினால் கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றன. சாதகமான சூழல் கிடைக்கும் வரை விதைகள் முளைக்காமலும், மொட்டுகள் வளராமலும் இருக்கக்கூடிய தகவமைவுப் பண்புகள், இவ்வகை வளர்ச்சி நிலைகளுக்குச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இந்த விதைகளின், மெட்டுகளின் உறக்கங்களுக்கு அவற்றில் தோன்றும் வளர்ச்சி ஒடுக்கிச் சேர்மங்களே காரணம் என தாவரவாழ்வியல் வல்லுநர்கள் கருதினர். இந்த சேர்மங்களை இனமறியவும் முயன்றனர். இலையுதிர்காலத்தில் வளர்வடங்கிவிடும் சில மரங்களின் உதிர்ந்த இலைகளை எடுத்து ஆய்வுசெய்து, அவற்றிலிருந்து டார்மின் (dormin) என்ற வேதிச்சேர்மத்தைப் பிரித்தெடுத்தனர். பருத்திக் கனிகளில்,

உதிரும் தருணத்தில் தோன்றும் அப்சிசின்-II (abscisin-II) என்ற சேர்மத்தின் வேதித்தன்மையை ஒத்த சேர்மமே இந்த டார்மின் என பின்னர் தெரியவந்தது. இந்தச் சேர்மமே தற்போது அப்சிசிக் அமிலம் (Abscisic acid-ABA) என மறுபெயரிடப்பட்டுள்ளது.

6.5.1. ABA–காணப்படும் விதம், கடத்தப்படும் முறை

இது வாஸ்குலத் தவாரங்களில் எங்கும் காணப்படக்கூடிய ஹார்மோன் ஆகும். இத்தாவரங்களின் வேர்நுனிமூடி முதல், நுனி மொட்டு வரை அனைத்துத் திசுக்களிலும் இது இருப்பது அறியப்பட்டுள்ளது. இது பசுங்கணிகம் அல்லது வெளிர்க்கணிகம் ஆகியவற்றைப் பெற்ற அனைத்து செல்களிலும் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. இது பல்வேறு பூஞ்சைப் பேரினங்களில் இரண்டாம்நிலை வளர்சிதைமாற்றப் பொருளாக உருவாக்கப்படுகிறது.

சைலம், ஃபுளோயம் ஆகிய இரண்டின் வழியாகவும் ABA கடத்தப்படுகிறது. இருப்பினும், இதன் செறிவு ஃபுளோயத்தில் அதிகமாக இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. தாவரத்தினுள் இது இரு திசைகளிலும், அதாவது தண்டிலிருந்து வேர்த்தொகுப்பை நோக்கி அதிக அளவில் ஃபுளோயம் திசு வழியாகவும், வேரிலிருந்து தண்டைநோக்கிச் சைலத்தின் வழியாகவும் இடம்பெயர்கிறது. நிலத்தில் நீர் இயல்திறன் குறைந்து தாவரத்திற்கு நீர் நெருக்கடி எற்படும் நேரங்களில் சைலத்தின் வழியாகக் கடத்தப்படும் ABA வேர்த்தொகுப்பில் உற்பத்தியாகி தண்டுத்தொகுப்பை நோக்கி இடம்பெயர்ந்து இலைகளில் செறிவுற்று இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்ள உதவுகிறது.

நீர் நெருக்கடியின்போது சைலத்திலுள்ள சாற்றின் pH உயர்கிறது. நீராவிப்போக்கின் இழுவிசை மூலம் இலை சைலத்தை வந்தடையும் இச்சாறு, இலைசெல்களின் சைட்டோபிளாச புற வழிப்பகுதியின் காரநிலையை உயர்த்த உதவுகிறது. இதனால் ABA மூலக்கூறுகள், அயனியாக்க விளைவால், ABA^{-} அயனிகளாக மாறுகின்றன. இவ்வயனிகள் சவ்வின் வழியாக ஊடுகடத்தப்பட முடியாததால், இலை இடைத்திசு செல்களை அடையாது, காப்புச் செல்களைச்சென்றடைந்து, அங்கு அதிக சேர்க்கையுற்று, இலைத்துளைகள் முடிக்கொள்ள உதவுகிறது.

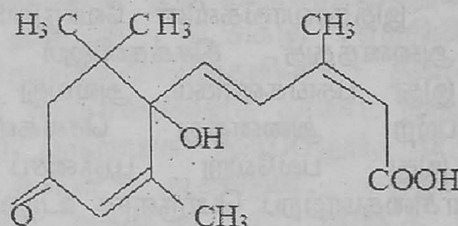
6.5.2. ABA -யின் வேதியமைப்பு

கரோட்டினாய்டு மூலக்கூறின் முனைப் பகுதியை ஒத்த அமைப்புடைய, 15 கார்பன்களைப்பெற்ற வேதிச்சேர்மமாக ABA திகழ்கிறது. இதன் இரண்டாம் கார்பனில் உள்ள கார்பாக்சில்

தொகுப்பின் அமைவிடத்தைக் கொண்டு 'சிஸ்' (sis), 'டிரான்ஸ்' (trans) என இரு மாற்றியங்கள் இருப்பதும் தெரியவந்துள்ளது (படம்–46). இவற்றுள் 'சிஸ்' வகை ABA இயற்கையில் காணப்படும் அப்சிசிக் அமிலமாகும்.

படம்–46

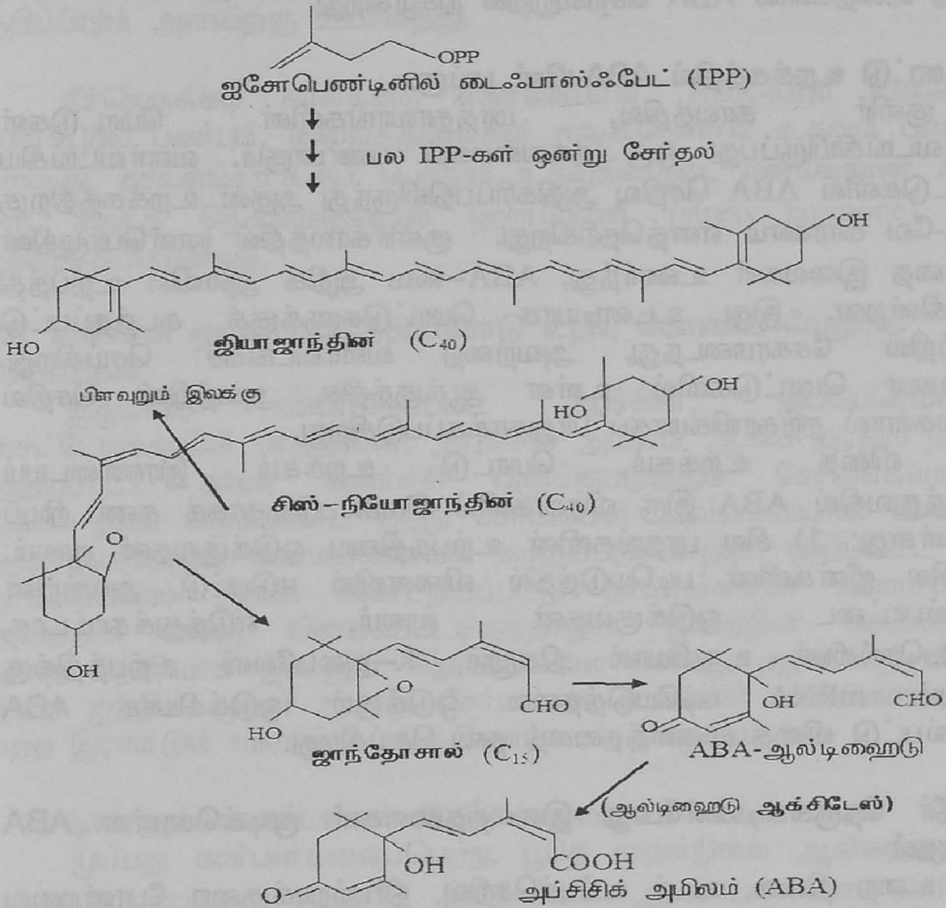
'சிஸ்' -ABA



6.5.3. ABA உற்பத்தியாகும் முறை

ABA–உற்பத்தி பசுங்கணிகங்களிலும், பிற கணிகங்களிலும் நிகழ்கிறது. உயர்தாவரங்களில் டெர்பினாய்டு உற்பத்தி வழிப்பாதை மூலம் ABA உற்பத்தியும் நிகழ்கிறது. ஐசோபிரின் சேர்மத்திலிருந்து தோன்றும் ஐசோபெண்டினில் டைஃபாஸ்ஃபேட் சேர்மமே பல்வேறு வகை டெர்பினாய்டுகளின் உற்பத்திக்கு உதவும் சேர்மமாகத் திகழ்கிறது. இவ்வாறு உருவாகும் டெர்பினாய்டுகளில் 40 கார்பன்களைப்பெற்ற சிஸ்–நியோஜாந்தினிலிருந்து (*cis*-neoxanthin) ABA உருவாகிறது. இந்த நியோஜாந்தின் முதலில் பிளவுற்று 15 கார்பன்களைப்பெற்ற ஜாந்தோசால் என்ற சேர்மம் உருவாகிறது. இந்தப் பிளவிற்கு சிஸ்–ஈபோக்சி கரோடினாய்டு டைஆக்சிஜனேஸ் (cis-epoxy carotenoid dioxygenase) என்ற நொதி உதவுகிறது. தாவரத்திற்கு நீர்நெருக்கடி ஏற்படும்போது இந்நொதி அதிக அளவில் உற்பத்தியாகி ABA உருவாவது வேகமடைகிறது. கரோட்டினாய்டுகள் காணப்படும் தைலகாய்டுகளில் இலக்குற்று இந்நொதி காணப்படுகிறது. 15 கார்பன்களைப்பெற்ற ஜாந்தோசால் ஒரு வளர்ச்சி ஒடுக்கியாகும். இச்சேர்மம் ஆக்சிஜனேற்றமடைவதன் மூலம் ABA உருவாகிறது. முதல் ஆக்சிஜனேற்றச் செயலின் மூலம் ABA-ஆல்டிஹைடு உருவாகிறது. இது பின்னர் ஆல்டிஹைடு ஆக்சிடேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் அப்சிசிக் அமிலமாக மாறுகிறது. இந்நொதியின் செயல்பாட்டிற்கு மாலிப்டினம் இணைக்காரணியாகச் செயல்படுகிறது (படம்–47).

படம் –47



6.5.4. அப்சிசிக் அமிலத்தால் ஏற்படும் வாழ்வியல் விளைவுகள்

i) விதை உருவாக்கத்திலும், விதை உறக்கத்திலும் ABA-யின் பங்கு:

விதை உருவாக்கத்தின் கருத்தோற்ற நிலையின்போது, அதில் சேமிப்புப் புரதங்கள் சேகரமடைவதை ABA ஊக்கப்படுத்துகிறது. அத்துடன் முதிர்ந்த கரு, விதை முளைப்பதற்கான உகந்தகாலம் வரும் வரை விதையினுள் வளர்வடங்கியிருக்க, அதாவது உறக்கத்திலிருக்க ABA உதவுகிறது. கருவின் இந்த உறக்க நிலைக்கு, வளர்ச்சி ஹார்மோனாகிய ஜிப்பெரெல்லின் அளவு குறைந்தும் ABA-யின் அளவு அதிகமாகவும் இருத்தல் மிகவும் தேவையானதாகும். ஒரு சில விதைகளின் உறக்க நிலைக்குக் காரணம் விதை உறைகளில் சேகரமடையும் வளர்ச்சி ஒடுக்கியாகியாகச் செயல்படும் ABA-வாகும். இது உள்ளிருக்கும் கருவை வளரவிடாமல் தடுக்க உதவுகிறது. கரு

வளர்ச்சி முடிவுற்று, விதை அமைதி நிலைக்குள் செல்லும் நேரத்தில் விதை உறைகளில் ABA செறிவுறுதல் நிகழ்கிறது.

ii) மொட்டு உறக்கத்தில் ABA-யின் பங்கு:

குளிர் காலத்தில், மரத்தாவரங்களின் மொட்டுகள் வளர்வடங்கியிருப்பது ஒரு தகவமைவுப் பண்பாகும். வளர்வடங்கிய மொட்டுகளில் ABA செறிவு அதிகரிப்பதிலிருந்து அதன் உறக்கத்திற்கு ABA-வே காரணம் எனத்தெரிகிறது. குளிர்காலத்தில் நாள்பொழுதின் நீளத்தை இலைகள் உணர்ந்து, ABA–வை அதிக அளவில் உற்பத்தி செய்கின்றன. இது உடனடியாக மொட்டுகளுக்குக் கடத்தப்பட்டு அவற்றில் சேகரமடைந்து, அவற்றை வளர்வடங்கச் செய்கிறது. அதுவரை மொட்டுகளில் உள்ள ஆக்குத்திசு, அவற்றின் செதில் இலைகளால் தற்காலிகமாகப் பாதுகாக்கப்படுகிறது.

விதை உறக்கம், மொட்டு உறக்கம் இரண்டையும் நிகழ்த்துவதில் ABA இரு விதங்களில் செயல்படுவதாகக் கண்டறியப் பட்டுள்ளது: 1) சில புரதங்களின் உற்பத்தியை ஒடுக்குவதன் மூலம்; 2) சில ஜீன்களின் படியெடுத்தல் விளைவில் ஈடுபட்டு, அவற்றின் செயல்பாட்டை ஒடுக்குவதன் மூலம். எடுத்துக்காட்டாக, ஜிப்பெரெல்லின் உதவியால் நிகழும், K–அமைலேஸ் உற்பத்திக்கு உதவும் mRNA படியெடுத்தலை ஒடுக்கும் ஒடுக்கியாக ABA செயல்பட்டு விதை முளைத்தலைத் தடைசெய்கிறது.

iii) நீர் நெருக்கடியின்போது இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்ள ABA உதவுதல்

உறை நிலை, உயர் உப்புச்செறிவு, நீர்பற்றாக்குறை போன்றவை தாவரங்களை நீர் நெருக்கடிக்கு உள்ளாக்குகின்றன. இதனால் தாவரங்களுக்கு வறட்சி ஏற்படுகிறது. இந்த வறட்சிக் காலங்களில் அதன் இலைகளில் ABA செறிவு அதிகரிப்பதுடன், காப்புச் செல்களில் இது அதிகம் சேகரமடைந்து இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்ள உதவுகிறது. இதனால் நீராவிப்பொக்குத் தடுக்கப்பட்டு, தாவரங்களில் நீர் இழப்பு ஏற்படுவது தவிர்க்கப்படுகிறது.

iv) நீர் நெருக்கடியின்போது வேரின் வளர்ச்சியை மேம்படுத்த உதவுதல்

வேர், தண்டு ஆகியவற்றின் வளர்ச்சியில் ABA வேறுபட்ட விளைவுகளை ஏற்படுத்துகிறது. இது நிலவிவரும் நீர் அளவைப் பொறுத்தது. நீர் பற்றாக்குறையால் குறைவான நீர் இயல்திறன் கொண்ட சூழலில் வாழ நேரிடும்போது, தாவரத்தினுள் ABA-யின் அளவு அதிகரிக்கிறது. இதன் காரணமாக எத்திலின் உற்பத்தி குறைந்து வேர்களின் வளர்ச்சி மேம்படுகிறது. அதே சமயம் தண்டுத்

தொகுப்பின் வளர்ச்சி சற்றே குறையத் தொடங்குகிறது. இதனால், குறைவான நீர் இயல்திறன் நிலவும் நேரங்களில் வேர்த்தண்டு விகிதம் குறிப்பிடும் அளவிற்கு உயர்கிறது.

நீர்நெருக்கடி காலத்தை எதிர்கொள்ள, ABA-யால் விளையும் மேற்கூறிய பண்பும், இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்ள உதவும் பண்பும் சேர்ந்து, தாவரங்களக்குப் பெரிதும் உதவுகின்றன. எனவேதான் ABA ஒரு சிறந்த நெருக்கடிக்கால ஹார்மோன் (stress hormone) என அழைக்கப்படுகிறது.

6.6. வளர்ச்சி ஒழுங்கு படுத்திகளோடு உறவு கொண்ட வேறுசில சேர்மங்கள்

இதுவரை விவரிக்கப்பட்ட ஆக்சின், ஜிப்பெரெல்லின், சைட்டோகைனின், எத்திலின், அப்சிசிக் அமிலம் ஆகிய ஐந்தும் நன்கு அறியப்பட்ட தாவர வளர்ச்சி ஒழுங்குபடுத்தும் சேர்மங்களாகும். இவை தவிர கீழ்க்கண்ட ஐந்து சேர்மங்கள் அவ்வகையான வளர்ச்சி ஒழுங்குபடுத்தும் சேர்மங்களாகக் கருதப்படுகின்றன. குறிப்பிட்ட சில தாவரங்களில் இவை கண்டறியப்பட்டு தாவரங்களின் வளாச்சியில் அவற்றின் பங்கு விளக்கப்படடிருந்தாலும், இவற்றின் செயலியக்க முறை தெளிவாக இன்னும் தெரியவில்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இந்த ஐந்தில் முதல் மூன்று சேர்மங்கள் வளர்ச்சி ஊக்கிகளாகவும், மற்ற இரண்டும் வளர்ச்சி ஒடுக்கிகளாகவும் திகழ்கின்றன.

i) டிரைஅக்கோண்டனால் (Triacontanol)

முப்பது கார்பன்களைப்பெற்ற, பூரித முதல்நிலை ஆல்கஹாலான (saturated primary alcohol) இச்சேர்மம் *ஆல்ஃபால்ஃபா* (Alfalfa) தாவரத் தண்டிலிருந்து தனித்தெடுக்கப்பட்ட ஒரு வளர்ச்சி ஊக்கியாகும். நீரில் கரையாத்தன்மை கொண்ட இதன் மூலக்கூறுகள் நீருடன் சேரும்போது கூழ்ம விரவு துகள்களாக விடப்படுகின்றன. இதைச் சோளம், தக்காளி, நெல் போன்ற தாவரங்களின் இலைகளில், ஒரு லிட்டர் நீரில் 0.1 நானோகிராம் என்ற அளவில் கலந்து தெளிக்கும்போது, அவற்றின் வளர்ச்சி குறிப்பிடும்படி உயர்வது தெரியவந்துள்ளது.

ii) பிராஸின்கள் (Brassins)

பிராஸிகா நாபஸ் (*Brassica napus*) என்ற கடுத்தாவரத்தின் மகரந்தங்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட இவை, ஸ்டிராய்டு வளர்ச்சியூக்கிச் சேர்மங்களாகும். எனவே, இவை பிராஸினோ ஸ்டீராய்டுகள் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. வேதியமைப்பில் இவை பூச்சிகளின் தோல்படலம் உருவாகவும், உரிக்கப்படவும் உதவும்

எக்டிசோன்கள் (ecdysones) என்ற ஹார்மோன்களுடன் உறவு கொண்டுள்ளன. தாவர வளர்ச்சியூக்கும் செயலில் இவற்றின் பங்கு இன்னும் முழுமையாக அறியப்படவில்லை.

iii) பாலிஅமைன்கள் (Polyamines)

இவை லைசின், ஆர்ஜினைன் ஆகிய அமினோ அமிலங்களைால் ஆன, இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட இணைதிறன் கொண்ட நேர் அயனிச்சேர்மங்கள் ஆகும். புட்ரெசைன் (putrescine), கடாவெரைன்(cadaverine), ஸ்பெர்மிடைன் (spermidine), ஸ்பெர்மைன் (spermine) ஆகியவை தாவரங்களில், வாழ்வியல் முக்கியத்தவம் பெற்ற பாலிஅமைன்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகம். இவை தனிச் சேர்மங்களாகவோ அல்லது ஃபினாலிக் சேர்மங்களான கௌமாரில் (coumaryl), காஃபியோல் (coffeoyl) ஆகியவற்றுடன் இணைந்த நிலையிலோ காணப்படுகின்றன. பிற ஹார்மேன்கள்போல் மைக்ரோமோலார் செறிவில் காணப்படாமல், மில்லி மோலார் செறிவில் இவை காணப்படுகின்றன.

செல் பிரிதல், சவ்வுகளின் நிலைப்பாடு, தனித்துப் பிரித்தெடுக்கப்பட்ட புரோட்டோபிளாஸ்டுகளின் நிலைப்பாடு, சில கனிகளின் உருவாக்கச்செயல், தாவரத்திலிருந்து அகற்றப்பட்ட இலகளின் வயதாதலை ஒத்திப்போடுதல் போன்ற பல்வேறு வாழ்வியல் விளைவுகளைப் பாலிஅமைன்கள் செய்வதாக ஈவான்ஸ் (Evans), மாம்பெர்க் (Malmberg) என்ற அறிஞர்கள் 1989-இல் கண்டறிந்துள்ளனர்.

இவற்றின் நேர்மின்சுமை பெற்ற அமைனோ தொகுப்புகள் உட்கரு, ரைபோசோம் ஆகியவறறில் உள்ள DNA, RNA ஆகியவற்றின் எதிர்மின்சுமைபெற்ற ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளுடன் இணைந்து, DNA-யில் படியெடுத்தல் செயலையும், RNA-யில் மரபுச்செய்தி மொழிமாற்றத்தையும் தூண்டுவதாக இவர்கள் கருதுகின்றனர்.

iv)பேடாசின்கள் (Batasins)

டயாஸ்கோரியா பேடாடஸ் (*Dioscorea batatus*) என்ற தாவரத்தின் கிழங்கு மொட்டுக்களான பல்பில்களின் தோலில் இருந்து கொண்டு அவற்றின் வளர்ச்சியை ஒடுக்கி, உறக்க நிலையில் வைத்திருக்க உதவும் சேர்மங்கள் இவைகளாகும். நீண்ட காலத்திற்கு இதன் கிழங்குகள் தாழ்வெப்பநிலைக்கு உட்புடும்போது, இச்சேர்மங்கள் சிதைந்து, கிழங்கின் மொட்டுகள் வளர்வது தெரியவந்துள்ளது. இருப்பினும், மொட்டு உறக்கத்திற்குக் காரணமாகவுள்ள, மொட்டின்

உட்புற செல்களுக்கு, இச்சேர்மம் கடத்தப்படும் விதம் இன்று வரை முழுமையாகத் தெரியவில்லை.

v) ஜாஸ்மோனேட்டுகள் (Jasmonates)

ஸாஸ்மைன் (*Jasmine*) என்ற மல்லிகைத் தாவரத்தின் எண்ணெயில் காணப்படும் ஜாஸ்மோனிக் அமிலம், இத்தாவரம் தவிர பல்வேறு பூக்கும் தாவரங்கள், பூஞ்சைகள், மாஸ் தவரங்கள், பெரணிகள் ஆகியவற்றிலும் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. லினோலெனிக் அமிலத் திலிருந்து லிபாக்சிஜினேஸ் (lipoxygenase) என்ற நொதியின் உதவியால் உயிர்மஉற்பத்தியாகும் இவை, சில தாவரங்களின் வளர்ச்சி ஒடுக்கியாக இருப்பதுடன், இலைகளின் வயதாதலைத் தூண்டும் சேர்மங்களாகவும் திகழ்கின்றன.

7. பூத்தலின் வாழ்வியல்
(Physiology of Flowering)

பருவகாலத்திற்கு ஏற்ப தாவரங்கள் பூக்கும் செயலைச் செய்கின்றன. பல்வேறு தாவரங்கள் வசந்த காலத்தில் பூக்கின்றன. வேறு சில, கோடையில் பூக்கின்றன. எனவே, பருவகாலத்திற்கும் பூக்கும் செயலுக்கும் இடையே நெருங்கிய தொடர்பிருப்பது இதிலிருந்து தெரிகிறது. கீழ்க்கண்ட மூன்று உண்மைகளை நாம் தெரிந்து கொண்டால் பூத்தலின் வாழ்வியலை நன்கு புரிந்து கொள்ள முடியும்:

1. தாவரங்கள் எவ்வாறு ஓர் ஆண்டின் பருவக் காலங்களுடன், ஒரு நாளின் பகல், இரவுப் பொழுது மாற்றங்களுடன் இயைந்துபோகின்றன என்ற உண்மை;

2. சுற்றுச்சூழலின் எந்த முன் அறிகுறி பூத்தலைக் கட்டுப்படுத்துகிறது; இந்த முன் அறிகுறியைத் தாவரம் எவ்வாறு உணர்கிறது என்ற உண்மை;

3. இந்த முன்அறிகுறி பூத்தலோடு தொடர்டபுடைய ஆக்கச்செயலை நிகழ்த்திட எவ்வாறு கடத்தப்படுகிறது என்ற உண்மை.

மனிதர்களில் எவ்வாறு கைக்குழந்தைப் பருவம், குழந்தைப் பருவம், வளர் இளம் பருவம், வயது வந்த பருவம் என வளர் நிலைகள் உள்ளனவோ அதேபோல், பூக்கும் தாவரங்களின் வளர்நிலையிலும் பல்வேறு பருவங்கள் காணப்படுகின்றன. விலங்கினங்களில் இப்பருவநிலை மாற்றங்கள் முழு உயிரினத்திலும் வெளிப்படுகின்றன. ஆனால், தாவரங்களில் தண்டுநுனி ஆக்குத்திசு என்ற ஒற்றைச் செயல்படும் பகுதியில் இலக்குற்று இந்த வளர்பருவ நிலைகளின் வேறுபாடுகள் வெளிப்படுகின்றன.

கரு நிலைக்குப் பிறகு தோன்றும் வளர்ச்சியில் பூக்கும் தாவரங்கள், இள நிலை, முதிர்ந்த தழைஉடல நிலை, முதிர்ந்த இனப் பெருக்கநிலை என்ற நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட மூன்று நிலைகளை வெளிப்படுத்துகின்றன. இவற்றுள், தழைஉடல நிலையின்போது தழைஉடல வளர்ச்சிக்கு உதவிக்கொண்டிருந்த தண்டு நுனி ஆக்குத்திசு இனப்பெருக்க நிலையின்போது இன உறுப்புகளைத் தாங்கிய பூக்களை உருவாக்கத் தொடங்குகிறது.

7.1. பூத்தலில் ஒளிக்காலத்துவம்

பூக்கும் தாவரங்களில், தழைஉடலத்தை உருவாக்கும் தண்டின் நுனி மொட்டு, கோணமொட்டுகள் ஆகியவை இனப்பெருக்கக் காலத்தில் பூக்களை உருவாக்கும் மொட்டுகளாக நிலை மாறுவதற்கு, ஒரு நாள் பொழுதில் கிடைக்கும் ஒளிக்கால அளவே காரணம் என்பதை கார்னெர், அல்லார்டு (Garner and Allard) என்பவர்கள் 1920–ஆம் ஆண்டிலேயே அமெரிக்காவில் உள்ள மேரிலாண்ட் (Maryland) என்ற இடத்தில் புகையிலச் செடியில் செய்த ஆய்வினைக்கொண்டு மெய்ப்பித்தனர்.

புகையிலைச் செடியில் சடுதிமாற்றமடைந்த, மேரிலாண்ட் மாமத் (Maryland mammoth) என்ற ஒரு ரகம் அது வளர்ந்த கோடைக் காலத்தில் பூக்களை உருவாக்காமல் ஐந்து மீட்டர்வரை உயர்ந்து வளர்ந்தது. ஆனால், இத்தாவரத்தை அதே கோடைக்கலத்தில் மாலைப்பொழுதிற்கு முன் ஒளிஉட்புகா அறை ஒன்றில் மறுநாள் காலைவரை வைத்து பகல் பொழுதில் இயல்பான ஒளியில் வளர்த்து வந்தனர். கோடையில் நிலவும் நீண்ட நாள்பொழுதிற்குப் பதிலாகக் குறுகிய நாள்பொழுதிற்கு மேற்கூறியவாறு பலமுறை இத்தாவரத்தை உட்படுத்தியபோது அது பூக்களைக் கோடைகாலத்திலேயே உருவாக்கியது. இவ்வாறு, ஒளியின் காலஅளவு என்ற தூண்டலுக்கு ஏற்ப, பூத்தல் என்ற துலங்கல் நிகழ்வதற்கு ஒளிக்காலத்துவம் (Photoperiodism) என்று பெயர்.

7.2. ஒளிக்காலத் தூண்டலுக்கேற்ப தாவரங்களின் வகைப்பாடு

நாள்பொழுதின் நீளம், தாவரங்களில் பூத்தலைத் தீர்மானிப்பதுடன், வேறுசில வளர்ச்சிநிலைகளிலும் தாக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது என்றாலும், பூக்கள் தோன்றுவதை மட்டும் அடிப்படையாகக் கொண்டு பூக்கும் தாவரங்கள் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன:

1) குறுநாள் தாவரங்கள் (Short Day Plants-SDPs): குறுகிய நாள்பொழுது கிடைத்தால் மட்டுமே பூக்களை உருவாக்கும் தாவரங்களாகவும் அல்லது பூக்களைத் துரிதமாக உருவாக்கும் தாவரங்களாகவும் இவை திகழ்கின்றன. இவற்றுள் முன்னது பண்புசார் குறுநாள் தவரங்கள் (qualitative SDPs) என்றும், பின்னது அளவுசார் குறுநாள் தாரங்கள் (quantitative SDPs) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. *கிரைசாந்திமம்* (*Chrysanthemum*), மஞ்சள் *காஸ்மாஸ்* (yellow *Cosmos*), *கிளைசின் மாக்ஸ்* (*Glycine max*) என்ற சோயா மொச்சை, *ஜியா மேய்ஸ்* (*Zea mays*) என்ற மக்காச்சோளம் போன்றவை பண்புசார் குறுநாள் தாவரங்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். *கனாபிஸ்*

சட்டைவஸ் (*Cannanbis sativus*), *டேட்ரா ஸ்ட்ரமோனியம்* (*Datura stramonium*), *காசிபியம் ஹிர்சூட்டம்* (*Gossypium hirsutum*), *ஹீலியாந்தஸ் அன்னுவஸ்* (*Helianthus annus*) ஆகியவை அளவுசார் குறுநாள் தாவரங்குளுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

2) நீள்–நாள் தாவரங்கள் **(Long Day Plants-LDPs):** நீண்ட நாள்பொழுது கிடைத்தால் மட்டுமே பூக்களை உருவாக்கும் தாவரங்களாகவும் அல்லது பூக்களைத் துரிதமாக உருவாக்கும் தாவரங்களாகவும் இவை திகழ்கின்றன. இவற்றுள் முன்னது பண்புசார் நீள்–நாள் தாவரங்கள் (qualitative LDPs) என்றும், பின்னது அளவுசார் நீள்நாள் தாவரங்கள் (quantitative LDPs) என்றும் அழைக்கப் படுகின்றன. *அவினா சட்டைவா* (*Avena sativa*), *ஹையோஸ்கையாமஸ் நைஜர்* (*Hyoscyamus niger*), *நிக்கோட்டியானா சில்வெஸ்ட்ரிஸ்* (*Nicotiana sylvestris*), *ரஃபானஸ் சட்டைவஸ்* (*Rapahnus sativus*) ஆகியவை பண்புசார் நீள்நாள் தாவரங்களுக்கு எடுத்துக் காட்டுகளாகும். *ஹோர்டியம் வல்கேர்* (*Hordium vulgare*), *சிகேல் சீரியேல்* (*Secale cereale*), *டிஜிடாலிஸ் பர்பியூரியா* (*Digitalis purpurea*), *பைசம் சட்டைவம்* (*Pisum sativum*), *லாக்டுகா சட்டைவா* (*Lactuca sativa*) ஆகியவை அளவுசார் நீள்–நாள் தாவரங்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

3. இருவகை நாள்-நீள் அளவுத் தாவரங்கள் (Dual-day length plants)
சில சமயம் கோடை, குளிர்பருவ காலங்களில் சீராக நாள் பொழுதின் நீளம் காணப்படாமல், குறுகிய நாள்பொழுதினைத் தொடர்ந்து நீள்–நாள் பொழுதும் அல்லது அதற்குத் தலைகீழாகவும் நாள்பொழுதுகள் அமையலாம். இவ்வகை பருவகாலத் தெளிவின்மையை வேறுபடுத்தி அறிந்து, பூக்களை உருவாக்கும் தாவரங்கள், இருவகை நாள்–நீள் அளவுத் தாவரங்கள் எனப்படுகின்றன. இதில் இரு வகைகள் உள்ளன. 1) நீள்–குறுநாள் தாவரங்கள் (Long-Short Day Plants-LSDPs) குறுநாள் பொழுதுகளைத் தொடர்ந்து தொடர்ச்சியாக வரும் நீள் நாள் பொழுதுகளுக்குப் பின் பூக்கும் தாவரங்கள் இவை. *பிரையோஃபில்லம்* (*Bryophyllum*), *கலான்சோ* (*Kalanchoe*) ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். 2) குறு–நீள்நாள் தாவரங்கள் (Short-Long Day Plants-SLDPs) நீள்நாள் பொழுதுகளைத் தொடர்ந்து தொடர்ச்சியாக வரும் குறுநாள் பொழுதுகளுக்குப் பின் பூக்கும் தாவரங்கள் இவை. *டிரைஃபோலியம் ரெபென்ஸ்* (*Trifolium repens*) இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும்.

4. நாள் நடுநிலைத் தாவரங்கள் (**Day-neutral Plants-DNPs**) எந்த வகை ஒளிக்கால அளவிலும் பூக்கக்கூடிய தாவரங்கள் நாள் நடுநிலைத் தாவரங்கள் எனப்படுகின்றன. *குக்குமிஸ் சட்டைவஸ்* (*Cucumis sativus*), *காம்ஃபிரினா குளோபோசா* (*Gomphreina globosa*), *ஹிலியாந்தஸ் டியூபெரோசஸ்* (*Helianthus tuberosus*), நெல் தாவரமாகிய *ஒரைசா சட்டைவா* (*Oryza sativa*), *வின்கா ரோசியா* (*Vinca rosea*) ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

7.3. பூத்தலுக்கான தீர்வுக்கட்ட நேரம் (Critical Photoperiod for Flowering)

ஒரு நாளின் 24 மணி நேர சுழற்சியில், ஒரு குறிப்பிட்ட காலஅளவிற்குக் குறைவாகவோ அல்லது அதிகமாகவோ ஒளி கிடைக்கப்பெறுவதால் பூக்கள் உருவாகின்றன. இந்தக் குறிப்பிட்ட காலஅளவு அத்தாவரத்தின் தீர்வுக்கட்ட நேரம் எனப்படுகிறது. தீர்வுக்கட்ட நேரத்தை விட குறைவான ஒளிக்கால அளவில் பூக்களை உண்டாக்கும் தாவரங்கள் குறுநாள் தாவரங்கள் என்றும், தீர்வுக்கட்ட நேரத்தை விட அதிகமான ஒளிக்கால அளவில் பூக்களை உண்டாக்கும் தாவரங்கள் நீள்நாள் தாவரங்கள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. எனவே, தாவரங்களை ஒளிக்காலத் துலங்கலின் அடிப்படையில் வகைப் படுத்தும்போது, தீர்வுக்கட்ட நேர அளவை நேரடியாக எடுத்துக் கொண்டு வகைப்படுத்தாமல், அதற்குக் குறைவாகக்கொடுத்து, அல்லது அதிகமாகக் கொடுத்து பூக்கிறதா என்ற ஒப்பீட்டளவின் அடிப்படையில் வகைப்படுத்துதல் வேண்டும். தீர்வுக்கட்ட நேரமாக 12 மணி நேரத்தைக்கொண்ட தாவரமும், 14 மணி நேரத்தைக் கொண்ட தாவரமும் முறையே நீள்நாள் தாவரமாகவும், குறுநாள் தாவரமாகவும் இருக்கலாம். முன்னது 12 மணி நேரத்தைவிட அதிகஒளிக்கால அளவில் பூப்பதும், பின்னது 14 மணி நேரத்தைவிடக் குறைவான ஒளிக்கால அளவில் பூப்பதுமே இதற்குக் காரணங்களாகும்.

7.4. ஒளிக்காலத் தூண்டலை ஏற்கும் தாவரப்பகுதியும், ஒளிக்கால உய்த்துணர்வும் (Site of perception of photoperiodic stimulus and photoperiodic induction)

நீள்–நாள் தாவரங்கள், குறுநாள் தாவரங்கள் ஆகிய அனைத்திலும், உகந்த ஒளிக்காலம் கிடைத்ததும் உருவாகும் தூண்டலை உணரும் பகுதியாகத் திகழ்வது இலைகளாகும். எடுத்துக்காட்டாக *ஜாந்தியம்* (*Xanthium*) என்ற குறுநாள் தாவரத்தின் ஒரே ஒரு இலைக்குமட்டும் உகந்த ஒளிக்காலம் (தீர்வுக்கட்ட நேரத்தை விடக் குறைவான ஒளிக்காலம்) அளித்து, மற்ற எல்லா இலைகளையும் நீண்ட ஒளிக்காலத்தில் வைத்திருந்தபோதிலும், அதில் பூக்கள் உருவாதலைக்

கொண்டு இதனை நிரூபிக்கலாம். எனவே, இலையால் ஏற்கப்பட்ட ஒளிக்காலத் தூண்டல், தண்டு நுனிக்குக் கடத்தப்பட்டு, மலரை உருவாக்கும் நுனிமொட்டாக அது மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு ஒளிக்காலத் தூண்டலை இலை ஏற்று, பூத்தலை ஒழுங்குபடுத்த உதவும் செயல்கள் நிகழ்ந்து, தண்டு நுனிக்குப் பூவை உருவாக்கும் செயலாக அதைக் கடத்தும் ஒட்டமொத்தச் செயலுக்கு ஒளிக்கால உய்த்துணர்தல் (photpperiodic induction) என்று பெயர்.

தாவரத்தை விட்டு பிரித்தெடுக்கப்பட்ட இலையிலும் கூட இந்த உய்த்துணர்வுச்செயல் ஏற்பட முடியும் எனக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, ஜாந்தியம் தாவரத்திலிருந்து கொய்து எடுக்கப்பட்ட இலை ஒன்றிற்கு உகந்த ஒளிக்காலம் அளித்து இந்த உய்த்துணர்வுச் செயலை ஏற்படுத்திய பின்னர், உகந்த ஒளிக்காலம் அளிக்கப்படாத மற்றொரு ஜாந்தியம் தாவரத்துடன் ஒட்டுக்கட்டியபோது (graft) அத்தாவரத்தில் பூக்கள் உருவாதலைக்கொண்டு இதனை நிரூபித்துள்ளனர். பூ உருவாவதற்கான உய்துணர்வுத் தூண்டல் தாவரத்தின் ஃபுளோயம் திசு வழியாகக் கடத்தப்படுகிறது என்பதும் சோதனைகள் மூலமாக மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இந்த உய்த்துணர்வை ஏற்படுத்துவதற்காக ஒரு நாளில் தாவரத்திற்கு அளிக்கப்பட வேண்டிய உகந்த ஒளிக்காலம் உய்த்துணர்வுச் சுழற்சி (induction cycle) எனப்படுகிறது. ஒரு சில தாவரங்களுக்கு ஓர் உய்த்துணர்வுச் சுழற்சி அளித்தாலே, அதாவது ஒரே ஒரு நாள் உகந்த ஒளிக்காலத்தில் வைத்திருந்தாலே அவை பூக்கின்றன. ஒரு சிலவற்றிற்கு ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட அல்லது பல உய்த்துணர்வுச் சுழற்சிகள் அளித்தால் மட்டுமே, அதாவது ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட அல்லது பல நாட்களுக்கு உகந்த ஒளிக்காலத்தில் வைத்திருந்தால் மட்டுமே அவை பூக்கின்றன. ஒற்றை உய்த்துணர்வுச் சுழற்சியில் பூக்களை உருவாக்கும் குறுநாள் தாவரங்களுக்கு *ஒரைசா சட்டைவா* (*Oryza sativa*), *ஜாந்தியம் ஸ்ட்ருமேனியம்* (*Xanthium strumanium*), *வுல்ஃபியா மைக்ராஸ்கோபியா* (*Wolffia microscopia*), *கீனபோடியம் ரூப்ரம்* (*Chenopodium rubrum*) ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும். நீள் நாள் தாவரங்களுக்கு *பிராசிகா காம்பெஸ்ட்ரிஸ்* (*Brassica campestris*), *அனகாலிஸ் ஆர்வென்சிஸ்* (*Anagalis arvensis*), *ஸ்பைனேசியா ஒலிரேசியா* (*Spinacia oleracea*) ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும். அதிக எண்ணிக்கையினாலான உய்த்துணர்வுச் சுழற்சியில் பூக்களை உருவாக்கும் குறுநாள் தாவரங்குளக்கு *கிரைசாந்திமம்* (*Chrysanthemum*), மஞ்சள் *காஸ்மாஸ்* (yellow *Cosmos*), *கிளைசின் மாக்ஸ்* (*Glycine max*) என்ற சோயா மொச்சை, *ஜியா மேய்ஸ்* (*Zea mays*) என்ற மக்காச்சோளம் போன்றவை

எடுத்துக்காட்டுகளாகும். நீள் நாள் தாவரங்களுக்கு *அவினா சட்டைவா* (*Avena sativa*), *ஹையோஸ்கையாமஸ் நைஜர்* (*Hyoscyamus niger*), *நிக்கோட்டியான சில்வெஸ்ட்ரிஸ்* (*Nicotiana sylvestris*), *ரஃபானஸ் சட்டைவஸ்* (*Rapahnus sativus*) ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

7.5. பூத்தலைத் தீர்மானிப்பதில் இருள்பொழுதின் பங்கு (Role of Dark Priod in Flowering)

ஒரு நாளின் 24 மணி நேர சுழற்சியில் பகல், இரவு என இரு பொழுதுகள் வருகின்றன. இவை இரண்டில் எது பூத்தலைத் தீர்மானிக்கும் காரணியாக உள்ளது என்ற ஆய்விற்கு அதிக முக்கியத்துவம் அளிக்கப்பட்டது. நாள் பொழுதின் நீளத்தைக் கொண்டு பூக்கும் தாவரங்கள் வகைப்படுத்தப்பட்டிருந்தாலும், உண்மையில், இவற்றில் நாளின் நீளத்தைத் தெரிவிக்க இருள்பொழுதின் நீளமே அடிப்படையாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. குறிப்பாக குறுநாள் தாவரங்களுக்கு இது மிகப்பொருத்தமாகக் கருதப்படுகிறது. ஏனெனில், இத்தவரங்களில் நாள் பொழுதை அடுத்துவரும் நீண்ட இடையீடு அற்ற இருள்பொழுதே பூத்தலைத் தீர்மானிக்கும் காரணியாக உள்ளது. எனவே இவை குறுநாள் தாவரங்கள் என்றில்லாமல் நீள் இரவுத் தாவரங்கள் (Long Night Plants - LNPs) என்றே அழைக்கப்படுகின்றன. எனவே, நீள்நாள் தாவரங்களில் மட்டுமே பகல்பொழுதின் நீளம் பூத்தலைத் தீர்மானிக்கும் காரணியாக இருப்பதால் அவை குறுஇரவுத் தாவரங்கள் (Short Night Plants - SNPs) என்றில்லாமல் நீள் நாள் தாவரங்கள் (LDPs) என்றே அழைக்கப்படுகின்றன. இருள் பொழுதின்போது ஒளி இடையீடு செய்து நிகழ்த்தப்பட்ட சோதனைகள் இதனை மெய்ப்பித்துள்ளன.

13 மணி நேர, 12 மணி நேர பகல் பொழுதுகளைத் தீர்வுக்கட்ட நேரங்களாக முறையே கொண்ட நீள்நாள் மற்றும் குறுநாள் தாவரங்களின் இருள் பொழுதில் ஒளி இடையீடு செய்து நிகழ்த்தப்பட்ட சோதனைகள் கீழ்க்கண்ட உண்மைகளை வெளிப்படுத்தின:

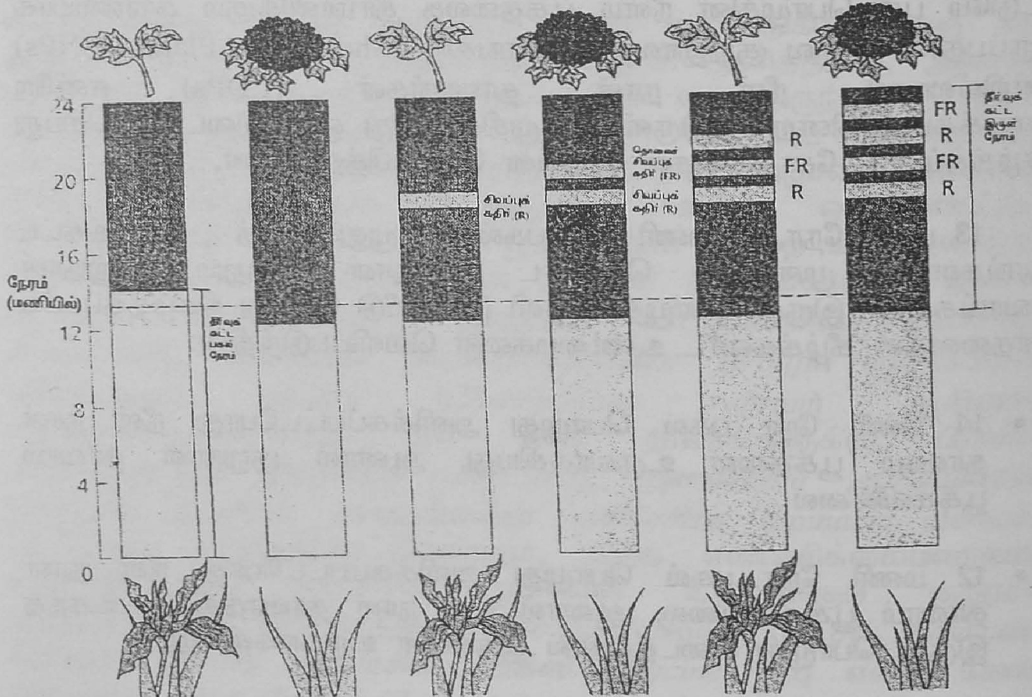
- 14 மணி நேர பகல் பொழுது அளிக்கப்பட்டபோது நீள் நாள் தாவரம் பூக்களை உருவாக்கியது, ஆனால் குறுநாள் தாவரம் பூக்கவில்லை

- 12 மணி நேர பகல் பொழுது அளிக்கப்பட்டபோது நீள் நாள் தாவரம் பூக்கவில்லை, ஆனால் குறு நாள் தாவரத்திற்கு உகந்த இருள் பொழுது கிடைத்ததால் பூக்களை உருவாக்கியது.

- இவ்விரு நிலைகளில் இருள்பொழுதின்போது ஒரு மணி நேரம் ஒளியைக்கொண்டு இடையீடு செய்தபோது, குறு நாள் தாவரம் பூக்காமல், நீள் நாள் தாவரம் மட்டும் பூத்தது.
- ஒளிக்கதிர் ஒன்றில் பல வண்ணக்கதிர்கள் இருப்பதால், முழு ஒளிக்குப் பதிலாக எந்த வண்ணக் கதிர் கொண்டு இடையீடு செய்தால் பூத்தல் விளைவில் தாக்கம் ஏற்படுகிறது என ஆய்வு செய்தபோது, சிவப்புக் கதிரே இத்தாக்கத்தை எற்படுத்துகிறது எனத் தெரியவந்தது. இருள்பொழுதின்போது ஒரு மணி நேரம் சிவப்புக் கதிரைக்கொண்டு இடையீடு செய்தபோது மட்டும், குறு நாள் தாவரம் பூக்காமல் நீள் நாள் தாவரம் மட்டும் பூத்தது இதற்குக் காரணமாகும்.
- இதே சோதனையைச் சிவப்புக் கதிரைக்கொண்டு இடையீடு செய்தபின்னர், அதனைத் தொடர்ந்து அதே காலஅளவிற்குத் தொலைச்சிவப்புக் கதிரைக்கொண்டு இடையீடு செய்தபோது, சிவப்புக்கதிரால் நீள்–நாள் தாவரத்திற்கு ஏற்பட்ட சாதக விளைவு (பூத்தல் செயல்) நீக்கப்பட்டு அது பூக்காமலும், குறுநாள் தாவரத்திற்கு சாதக விளவு ஏற்பட்டு அது பூப்பதும் நிகழ்ந்தது.

படம்–48

குறுநாள் தாவரம் (நீள் இரவுத் தாவரம்)



நீள்நாள் தாவரம் (குறு இரவுத் தாவரம்)

• இரவுப் பொழுதில் இவ்வாறு, சிவப்பு, தொலைச்சிவப்புக் கதிர்களைக் கொண்டு இடையீடு செய்வதை, ஒன்றையடுத்து ஒன்றாக நிகழ்த்திச் சோதனை செய்தபோது, இறுதியில் எந்தக் கதிரைக் கொண்டு இடையீடு செய்கிறோமோ அதைப்பொறுத்தே பூத்தல் நிகழ்வது கண்டறியப்பட்டது. இறுதியில் சிவப்புக் கதிர் இடையீடு செய்யப்படும்போது நீள் நாள் தாவரம் பூப்பதும், குறுநாள் தாவரம் பூவாதிருப்பதும், தொலைச்சிவப்புக் கதிர் இடையீடு செய்யப்படும்போது நீள் நாள் தாவரம் பூவாதிருப்பதும், குறுநாள் தாவரம் பூப்பதும் இதை மெய்ப்பிக்கின்றன (படம்-48)

7.6. பூக்கும் செயலுக்காக ஒளிஈர்க்கும் நிறமி (Light Absorbing Pigment for Flowering Process)

ஒளியில் உள்ள கதிர்களில் சிவப்பு, தொலைச் சிவப்பு கதிர்கள் மட்டுமே பூத்தல் விளைவில் தாக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்றன எனத் தெரிந்ததும், இக்கதிர்களை ஈர்த்து ஒளிக்காலத்துவச் செயலுக்கு உதவக்கூடிய நிறமி ஏதும் இருக்கிறதா என ஆய்வு செய்யப்பட்டபோது, ஃபைட்டோகுரோம் என்ற ஒரு வகை நிறமி இதற்கு உதவுகிறது எனத்தெரியவந்தது.

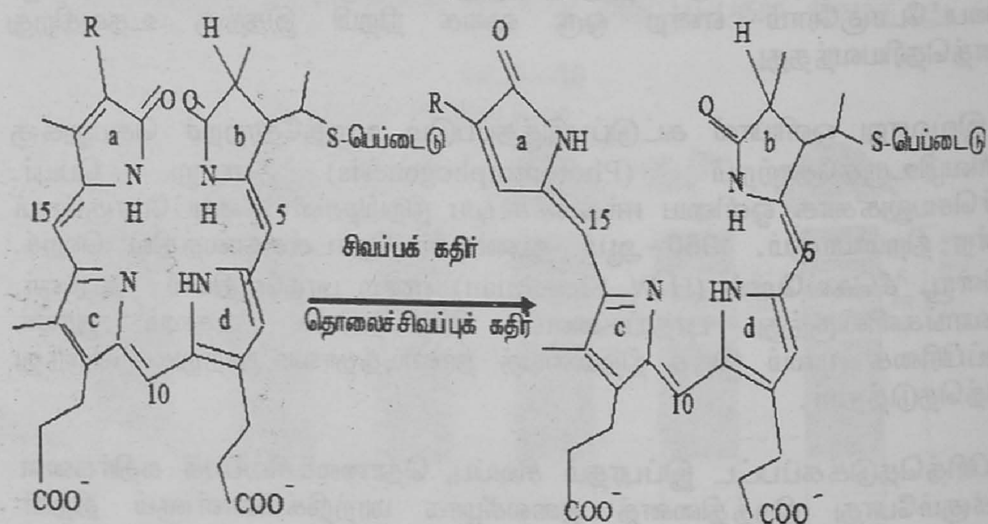
இவ்வாறு ஒளியால் கட்டுப்படுத்தப்படும் உருத்தோற்றச் செயலுக்கு ஒளிவழிஉருத்தோற்றம் (Photomorphogenesis) என்று பெயர். இச்செயலுக்காக ஒளியை ஈர்க்கக்கூடிய நிறமிதான் ஃபைட்டோகுரோம் என்ற நிறமியாகும். 1960–ஆம் ஆண்டின் தொடக்ககாலத்தில் ஹெச். டபிள்யூ. சீகெல்மேன் (H.W. Siegelman) என்ற புரதவேதியல் அறிஞர், தாவரங்களிலிருந்து புரதங்களைப் பிரித்தெடுக்க உதவும் தூண் நிறப்பிரிகை மூலம் இந்த நிறமியைத் தானியத்தாவர நாற்றுகளிலிருந்து பிரித்தெடுத்தார்.

பிரித்தெடுக்கப்பட்ட இப்புரதம் சிவப்பு, தொலைச்சிவப்புக் கதிர்களை ஈர்க்கும்போது நிறத்தினைத் தலைகீழாக மாற்றிக்கொள்ளும் திறன் கொண்டது என்பதையும் இவர் கண்டறிந்தார். இந்நிறமிப்புரதம் சிவப்புக் கதிரை ஈர்க்கும்போது Pr வகையிலும், தொலைச்சிவப்புக் கதிரை ஈர்க்கும்போது Pfr வகையிலும் தாவரத்தில் காணப்படுகிறது. Pr வகை ஊதா நிறத்திலும், Pfr வகை ஆலிவ் பச்சை நிறத்திலும் காணப்படும் நிறமிகளாகும். Pr வகை சிவப்புக் கதிர்களை (666 nm) ஈர்க்கும்போது Pfr–ஆகவும், Pfr வகை தொலைச்சிவப்புக் கதிர்களை (730 nm) ஈர்க்கும்போது Pr–ஆகவும் மாறும் தன்மை பெற்றுள்ளன.

வேதித்தன்மையில் ஃபைட்டோகுரோம் இரு ஒத்த பாலிபெப்டைடுகளைப் பெற்ற ஒரு ஹோமோடைமர் சேர்மமாகும். இதன்

ஒவ்வொரு பாலிபெப்டைடும் 120 கிலோ டால்டன் மூலக்கூறு எடை பெற்றிருப்பதுடன் குரோமோஃபோர் என்ற புரதமல்லாத புரோஸ்தெடிக் தொகுப்பையும் பெற்றுள்ளது. இத்தொகுப்புப் பாலிபெப்டைடின் சிஸ்டீன் அமினோ அமிலத்துடன் சல்ஃபர் அயனியால் பிணையுற்றுள்ளது. இந்தக் குரோமோஃபோர் திறந்த சங்கிலியாகத் திகழும் ஒரு டெட்ராபைரோல் ஆகும். சிவப்புப் பாசிகள், நீலப்பச்சைப்பாசிகள் ஆகியவற்றில் காணப்படும் ஃபைகோபிலின் நிறமியை ஒத்த அமைப்பாக இந்தக் குரோமோஃபோர் உள்ளது. ஃபைட்டோகுரோமில் சிவப்பு, தொலைச்சிவப்பு ஒளி ஈர்ப்புச் செயல்விளைவை ஏற்படுத்த இந்தக் குரோமோஃபோர் பகுதியே உதவுகிறது; அதன் புரதப்பகுதியல்ல. Pr வகை Pfr வகையாக மாற்றப்படும்போது குரோமோஃபோரில் 'சிஸ்–டிரான்ஸ்' மாற்றிய விளைவு ('cis-trans' isomersation) ஏற்படுகிறது. குரோமோஃபோர் இவ்வாறு மாறியமையும்போது ஃபைட்டோகுரோமின் புரதத்திலும் அமைப்புமாற்றம் ஏற்படுகிறது. இந்த அமைப்புமாற்றமே தாவரங்களில் பூத்தல்போன்ற உருவாக்கச்செயல்கள் தாவரத்திற்கேற்ப நிகழ உதவுகிறது. (படம்-49).

படம்–49

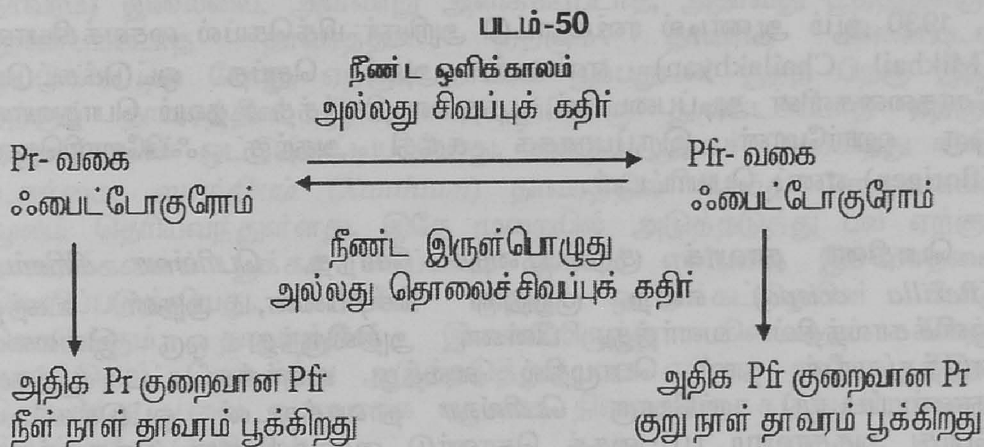


Pr- வகை ஃபைட்டோகுரோம் Pfr- வகை ஃபைட்டோகுரோம்

எடுத்துக்காட்டாக நீள்நாள் தாவரம் ஒன்று அதன் உகந்த ஒளிக்காலமாகிய தீர்வுக்கட்ட நேரத்திற்கு அதிகமான ஒளிக்கால அளவிற்கு உட்படும்போது அல்லது சிவப்புக்கதிர்களை ஈர்க்கும்போது அதிலுள்ள ஊதாநிற Pr வகை ஃபைட்டோகுரோம்கள், ஆலிவ் பச்சை நிற Pfr வகை நிறமிகளாக மாற்றப்படுகின்றன. Pr அளவைவிட Pfr அளவு அதிகரிக்கும்போது நீள்–நாள் தாவரம் பூக்கிறது. இதேபோல் குறு நாள் தாவரம் ஒன்று அதன் உகந்த ஒளிக்காலமாகிய தீர்வுக்கட்ட

நேரத்திற்குக் குறைவான ஒளிக்காலம், அல்லது நீண்ட இருள் பொழுதிற்கு உட்படும்போது அல்லது தொலைச்சிவப்புக்கதிர்களை ஈர்க்கும்போது அதில் உள்ள Pfr வகை ஃபைட்டோகுரோம்கள், Pr வகை நிறமிகளாக மாற்றப்படுகின்றன. Pfr அளவைவிட Pr அளவு அதிகரிக்கும்போது குறு நாள் தாவரம் பூக்கிறது (படம்-50).

படம்-50



7.7 பூத்தலில் பங்குகொள்களும் வேதியக் குறிப்புணர்வு (Biochemical signaling involved in flowering)

நாள் பொழுதின் நீளம், வெப்பநிலை போன்ற புறச்சூழல் காரணிகளுக்கும், தாவரத்தின் வயது போன்ற அக காரணிகளுக்குமிடையே ஏற்படும் தாக்கங்களின் விளைவே பூத்தலுக்குக் காரணம் என்பதை இது வரை தந்த விளக்கங்கள் தெளிவுபடுத்துகின்றன.

பூக்கும் செயல் தண்டுகளின் நுனிஆக்கத்திசுப்பகுதியில் நிகழ்கிறது என்றாலும், இதற்குக் தேவையான சில நிகழ்வுகள் தாவரத்தின் பிறபகுதிகளிலிருந்து, குறிப்பாக இலைகளிலிருந்து நுனி ஆக்கத்திசுப் பகுதிக்கு கொண்டுவரப்படும், வேதியக் குறிப் புணர்த்திகளால் தூண்டப்படுகின்றன.

இந்தக் குறிப்புணர்த்திகள் பூத்தலை நிகழ்த்தும் அல்லது ஒடுக்கும் காரணிகளாகத் திகழ்கின்றன. ஒரு சில சிற்றினங்களில் ஜிப்பெரெல்லின், எத்திலின் போன்ற சில ஹார்மோன்கள், இந்தக் குறிப்புணர்த்தும் காரணிகளாக இருந்து பூத்தலைத் தூண்டுகின்றன என்றாலும், அனைத்துத்தாவரங்களிலும் இச்செயலுக்குறிய பொதுவான ஒரு குறிப்புணர்தும் காரணி இருப்பதை, இதுவரை செய்யப்பட்ட

ஆய்வுகள் நிரூபிக்கவில்லை. எனவே பல காரணிகளால் ஏற்படும் விளைவாகவே பூக்கும் செயல் தூண்டப்படுகிறது என்பதைத் தற்போதைய சோதனைகள் தெளிவுபடுத்தியுள்ளன.

கடத்தப்படக்கூடிய, பூத்தலைத் தூண்டும் காரணிகள் உள்ளன என்பதை, பல்வேறு தாவரங்களில் செய்யப்பட்ட ஒட்டுக்கட்டுதல் சோதனைகள் நிரூபித்துள்ளன. அவற்றுள் சில பின்வருமாறு:

1930 ஆம் ஆண்டில் ரஷ்யநாட்டு அறிஞர் மிக்கெய்ல் சைலக்கியான் (Mikhail Chailakhyan) என்பவர், அவர் செய்த ஒட்டுக்கட்டும் சோதனைகளின் அடிப்படையில், பூத்தலை நிகழ்த்த உதவும் பொதுவான ஒரு ஹார்மோன் இருப்பதாகக் கருதி அதற்கு ஃபிளோரிஜென் (florigen) எனப் பெயரிட்டார்.

பொதினா தாவரக் குடும்பத்தைச் சேர்ந்த, *பெரில்லா கிரிஸ்பா* (*Perilla crispa*) என்ற குறுநாள் செடியினை, அதன் உகந்த ஒளிக்காலத்தில் வளர்த்து, பின்னர் அதிலிருந்து ஒரு இலையை எடுத்து நீள் நாள் பொழுதில் வைத்து வளர்க்கப்பட்ட (பூத்தல் தூண்டப்படாத) மற்றொரு *பெரில்லா* தாவரத்துடன் ஒட்டுக்கட்டிய போது அத்தாவரம் பூப்பதைக் கொண்டு சைலக்கியான இக்கருத்தை வெளியிட்டார்.

வெவ்வேறு ஒளிக்காலத்துவ தூண்டல் தேவைப்படும் தாவரங்களிலும், பூத்தலுக்கான தூண்டுதல் காரணி ஒன்றாகவே உள்ளது என்பதைக் கீழ்க்கண்ட சோதனை மெய்ப்பித்துள்ளது.

நிக்கோட்டியாணா சில்வெஸ்ட்ரிஸ் (*Nicotiana sylvestris*) என்ற நீள் நாள் தாவரத்தை அதன் உகந்த ஒளிக்காலமாகிய நீண்ட நாள் பொழுதில் வைத்து வளர்த்து, பின்னர் அதிலிருந்து ஓர் இலையை எடுத்து, நீள் நாள் பொழுதில் வைத்து வளர்க்கப்பட்ட (ஒவ்வாத ஒளிக் காலத்தில்) குறு நாள் தாவரமாகிய மேரிலாண்ட் மாமத் புகையிலைத் தாவரத்துடன் ஒட்டுக்கட்டியபோது அத்தாவரமும் பூத்தது.

ஒட்டுக்கட்டப்பட்ட இலையிலிருந்து, உகந்த ஒளிக்காலத்திற்கு உட்படுத்தப்படாத தாவரத்தினுள், இடப்பெயரும் தன்மை கொண்ட ஏதோ ஒரு வேதிப்பொருள் செல்வதால்தான் பூத்தல் நிகழ்ந்திருக்க வேண்டும் என்பதை இச்சோதனைகள் நிரூபிக்கின்றன.

சோயா மொச்சையில், நாள் நடுநிலைத்தாவரமாக விளக்கும் ஒரு ரகத்தின் இலையை, ஒவ்வாத ஒளிக்காலத்தில் வளர்க்கப்பட்ட (நீள் நாள் பொழுதிற்கு உட்படுத்தப்பட்ட) குறு நாள் தாவரமாக உள்ள

மற்றொரு ரகத்துடன் ஒட்டுக்கட்டிய போது, அத்தாவரம் பூத்தலைச் செய்தது. எனவே, எந்த ஒளிக்காலத் தூண்டலும் தேவைப்படாத நாள் நடுநிலைத் தாவரத்தின் இலையும் கூட, இவ்வகையான இடம்பெயரும் தன்மை கொண்ட, பூத்தலைத் தூண்டும் காரணியை உருவாக்க முடியும் என்பது இதிலிருந்து தெரிகிறது.

உகந்த ஒளிக்காலம் அளிக்கப்பட்ட தாவரத்தின் (கொடுக்கும் தாவரம்) இலையை, அவ்வாறு அளிக்கப்படாத, அதாவது பூத்தலுக்குத் தூண்டப்படாத தாவரத்தின் (ஏற்கும் தாவரம்) கிளையுடன் ஒட்டுக்கட்டிய போது, ஏற்கும் தாவரம் பூப்பதுடன் பூத்த பிறகு இந்த ஏற்கும் தாவரத்தின் இலையை, மற்றொரு தூண்டப்படாத ஏற்கும் தாவரத்துடன் ஒட்டுக்கட்டிய போது, அதைப் பூக்கச் செய்கிறது என்ற உண்மை, *ஸாந்தியம்* (*Xanthium*) தாவரத்தில் செய்த சோதனைகள் மூலம் தெரியவந்துள்ளது. இதே முறையில் அடுத்தடுத்து பல ஏற்கும் தாவரங்களைப் பூக்கச் செய்யவும் முடியும் என்பதை இச்சோதனை வெளிப்படுத்தியது. எனவே, முதல் ஒட்டுக்கட்டுதலின் போது கொடுக்கும் தாவரத்தின் இலையிலிருந்து கிடைக்கப் பெற்ற தூண்டுதல், தொடர்ந்து அடுத்தடுத்துப் பல ஏற்கும் தாவரங்களிலும் தொடர்ந்து பூவை உருவாக்க ஏதுவாக நிலைத்திருக்க முடிகிறது என இதிலிருந்து தெரிகிறது.

பூத்தலைத் தூண்டும் ஹார்மோன் ஒத்த வேதிச்சேர்மம் இருப்பது போலவே, பூத்தலை ஒடுக்கக் கூடிய வேதிச் சேர்மமும் காணப்படுவது, குறிப்பாக நீள் நாள் தாவரங்களில் உருவாவது, தெரியவந்துள்ளது. ஃபிளோரிஜென் எதிர்பொருள் (antiflorigen) என இது அழைக்கப்படுகிறது. புகையிலைத் தாவரத்தில் செய்த ஒட்டுக்கட்டுதல் சோதனை இதனை நிரூபித்துள்ளது.

உகந்த ஒளிக்காலம் அளிக்கப்படாத, அதாவது பூத்தல் தூண்டப்படாத *நிக்கோட்டியானா சில்வெஸ்ட்ரிஸ்* தாவரத்தின் இலையை, நாள் நடுநிலைத் தாவரமாக விளங்கும் மற்றொரு புகையிலை ரகத்தில் ஒட்டுக்கட்டிய போது, ஏற்கும் தாவரமாகிய நாள் நடுநிலைத் தாவரத்தில் பூத்தல் நிகழவில்லை. நீள் நாள் தாவரத்திலிருந்து வந்த இலை, ஏற்கும் தாவரத்தில் ஃபிளோரிஜென் எதிர்ப்பொருளை வெளியிட்டதே இதற்குக் காரணம் எனத் தெரிகிறது. பொதுவாக குறு–நாள் தாவரங்களில் இவ்விதமான எதிர்ப்பொருள் உருவாவதில்லை என்பதும் கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

மொத்தத்தில் தாவரங்களில் பூத்தலை ஒழுங்கு படுத்தக்கூடிய சேர்மம் ஏதோ ஒன்று உள்ளது என்பதை மேற்கூறிய சோதனைகள் யாவும் உறுதிப்படுத்துகின்றன. இருப்பினும், இச்சேர்மம் எது

எனத்தீர்மானமாக இது வரை அறியப்படவில்லை, ஆனால் கீழ்க்கண்டவற்றில் ஏதேனும் ஒன்றாக இருக்காலம் என்பதே உண்மையாகும்.

- உகந்த ஒளிக்காலத்திற்கு உட்பட்டதன் விளைவால் இலைகளில் உருவாகும் ஃபிளோரிஜென் சேர்மமாக இது இருக்கலாம்.

- சில தாவரங்களில், குறிப்பாக நீள்–நாள் தாவரங்களில் பூத்தலைத் தூண்டும் ஹார்மோனாக ஜிப்பெரெல்லின் இருப்பதால், அது கூட பூப்பதற்குரிய சேர்மமாக இருக்கலாம்.

- மேலும் சில தாவரங்களில் எத்திலின் பூத்தலைத் தூண்டுவதால் அதுவும் பூப்பதற்குரிய சேர்மமாகக் கருதப்படுகிறது.

- சில தாவரங்களில் தட்பப்பதனச் செயல் மூலம் உருவாகும் வெர்னலின் என்ற சேர்மம், அவற்றில் பூத்தலை நிகழ்த்துகிறது. இவ்வாறு தாழ் வெப்ப நிலையால் தோன்றும் வெர்னலின் சேர்மமும் பூத்தலுக்குரிய சேர்மமாகவே கருதப்படுகிறது.

எப்படி இருப்பினும் தாவரத்தின் வெவ்வேறு இலக்குகளில் தோன்றும் இவையாவும், நுனி ஆக்குத்திசு மட்டத்தில் உள்ள பூ தோன்ற உதவக்கூடிய ஜீனைச் செயல்படச் செய்வதன் மூலமே பூத்தல் செயல் நிகழ்கிறது என்பதே உண்மையாகும். இந்த ஜீன், பிற ஜீன்களின் மூலம், பூ மூலத்திசுவை இனமறியச் செய்ய உதவும் ஜீனின் செயல்பாட்டை ஊக்கப்படுத்துகிறது. தண்டு நுனி ஆக்குத்திசுவில் காணப்படும் இந்த ஜீன் CONSTANS (CO) எனவும், இது ஊக்கப் படுத்தும் பூ மூலத்திசுவை இனமறிய உதவும் ஜீன் LEAFY (LEY) எனவும் தற்போது தெரியவந்துள்ளது.

8. தட்பப்பதனம்
(Vernalization)

ஒளிக்கால அளவு, அதாவது நாள் பொழுதின் நீளம் எவ்வாறு பூத்தலைத் தீர்மானிக்கிறதோ அதே போல் தாழ் வெப்பநிலையும் சில தாவரங்களில் பூத்தலைத் தீர்மானிக்கிறது என்பதை ருஷ்ய நாட்டு வல்லுநர் ஜெ. கஸ்டாவ் காஸ்னெர் (J. Gustav Gassner) என்பவர் சில தானியத்தாவரங்களில் செய்த ஆய்வுகளின் மூலம் 1918ஆம் ஆண்டில் மெய்ப்பித்தார். இதன் பின்னர் லைசென்கோ (Lysenko) என்பவர், தாழ்வெப்பநிலையால் நிகழும் இப்பூத்தல் தத்துவத்திற்குத் தட்பப் பதனம் எனப் பொருள்படும் 'வெர்னலைசேஷன்' (Vernalization) என்று பெயரிட்டார். தற்போது இது கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கப்படுகிறது.

"நீரில் ஊறிய முளைக்கும் விதைகள் அல்லது வளரும் தாவரத்தைத் தாழ் வெப்பநிலைக்கு (உறை நிலைக்குக் சற்று கீழான வெப்ப நிலைக்கு) உட்படுத்திப் பூத்தலை வேகப்படுத்தும் செயலுக்குத் தட்பப்பதனம் என்று பெயர்".

8.1 தட்பப்பதன உணர்வுத் தாவரங்கள்

தானியங்களில் சில ஒரு பருவ குளிர் கால ரகங்களும், பெரும்பாலான இராண்டுத் தாவரங்களும் இயற்கையிலேயே தட்பப்பதன உணர்வுத் தாவரங்களாக உள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக *சீகேல் சிரியேல்* (*Secale cercale*) என்ற குளிர்கால ரை தாவரம், குளிர்காலத்தில் முளைத்து, அக்காலம் முழுவதும் நாற்று நிலையில் இருந்த பின்னர், அடுத்து வரும் வசந்த காலத்தில் வளர்ந்து 14 முதல் 18-ஆவது வாரத்தில் பூக்கிறது. ஆனால் இதன் முளைக்கும் விதைகளைத் தாழ்வெப்ப நிலைக்குச் (0-5°C) சில வாரங்களுக்கு உட்படுத்திய பின்னர் முளைக்கச் செய்யும் போது, அடுத்து வரும் வசந்த காலத்தில் ஏழாவது வாரத்திலேயே பூத்துவிடுகிறது. இதே போல் பெரும்பாலான இருபருவத் தாவரங்கள் ஒரு வசந்த காலத்தில் முளைத்து, வேர் அண்மை இலையடுக்க நிலைக்கு வளர்ந்ததும், அடுத்து வரும் இலையுதிர் காலத்தில் இலைகளை உதிர்த்தபின் விடப்படும் இலை அடிகளால், அதன் நுனி ஆக்குத்திசு மூடப்பட்டு, கோடைக்காலத்திலிருந்து பாதுகாக்கப்படுகிறது. இதனைத் தொடர்ந்து வரும் குளிர்காலத்திற்குப் பின் அடுத்த ஆண்டின் வசந்த காலத்தில் துரித வளர்ச்சியடைந்து பூக்கின்றன. எனவே இரண்டு வசந்த காலத்திற்கு இடையே வரும் குளிர்காலம் பூத்தலைத் தூண்டத் தேவைப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட தாவரங்களை, வேர் அண்மை இலையடுக்க நிலையின் போது சில வாரங்களுக்குத் தாழ்வெப்பநிலைக்குத் உட்படுத்தினால் அவை

அடுத்து வரும் கோடையிலேயே பூத்துவிடுகின்றன. பீட்ரூட் போன்ற தாவரங்களைத் தாழ் வெப்பநிலைக்கு உட்பட்டுவிடாமல் செய்தால் பல ஆண்டுகளுக்கு, பூத்தோன்றா தழை நிலையிலேயே வைத்திருக்கலாம்.

8.2 தாழ்வெப்பநிலை தூண்டலை உணரும் தாவரப்பகுதி

தாவரங்களின் தண்டுநுனி ஆக்குத்திசுப் பகுதியே தாழ்வெப்பநிலைத் தூண்டலை உணரும் பகுதியாக உள்ளது. இருப்பினும், வேர்களில், இளம் இலைகளில் உள்ள பகுபடும் செல்களுக்கும் இதனை உணரும் தகுதி உள்ளது எனத் தற்போது தெரிய வந்துள்ளது.

தாழ் வெப்பநிலைக்கு உட்பட்ட ஒரு தாவரத்தை உடனடியாக உயர் வெப்பநிலையில் (30°C) வைக்கும் போது அதில் தட்பப்பதன தூண்டல் விளைவு நீங்கிவிடுகிறது. தட்பப்பதன விளைவு நீக்கப்பட்ட இத்தாவரத்தை மீண்டும் தாழ்வெப்பநிலைக்கு உட்படுத்தும் போது மறுபடியும் அவ்விளைவு தோன்றிட முடியும். எப்படி இருப்பினும், தாழ்வெப்பநிலைக்கு உட்படுத்திய உடனேயே பூத்தல் விளைவு ஏற்பட்டு விடுவதில்லை. தாவரம் குறிப்பிட்ட காலத்திற்கு வளர்ந்த பின்னரே பூத்தல் நிகழ்கிறது. ஆனால் இயல்பான கால அளவை விட இது குறுகிய காலமாக உள்ளது.

8.3 தட்பப்பதனச் செயல் இயங்கும் விதம்

இதனை விளக்க கீழ்க்கண்ட இரு கோட்பாடுகள் தரப் பட்டுள்ளன.

(1) ஆக்க நிலைபோக்குக் கோட்பாடு (Phasic Development Theory)

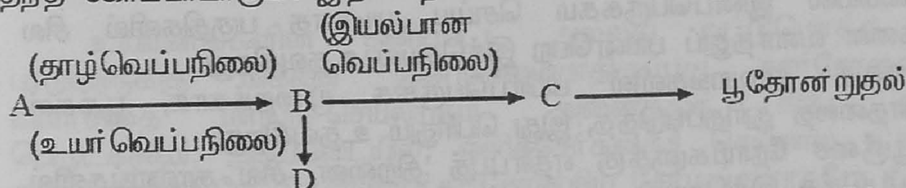
இதனை 1934-ஆம் ஆண்டில் லைசென்கோ முன் வைத்தார். இதன் முக்கிய கருத்துகள் பின்வருமாறு:

- வளர்ச்சியும், புத்தாக்கமும் இரு வேறுபட்ட தத்துவங்களாகும்.
- ஓராண்டு விதைத்தாவரம் ஒன்றின் புத்தாக்கத்தில் வரிசையான நிலைகள் காணப்படுகின்றன. இந்த நிலைகள் முன்தீர்மானிக்கப்பட்ட வரிசையில் நிகழ்கின்றன.
- இந்த வரிசையான நிலைகளில் ஒரு நிலையானது, முந்தைய நிலை முற்றுப்பெற்ற பின்னரே நிகழத் தொடங்குகிறது.
- ஒவ்வொரு நிலையும் முற்றுப்பெற ஒளி, வெப்பநிலை முதலிய புறச்சூழல் காரணிகள் தேவைப்படுகின்றன.
- இவற்றுள் தட்பப்பதனம், வெப்பநிலை சார்ந்து நிகழும் ஆக்க நிலையை (thermophase) வேகப்படுத்தப்படுத்துகிறது.

குளிர்கால கோதுமை ரகத்தில் செய்த சோதனையைக் கொண்டு லைசென்கோ இவற்றை மெய்ப்பித்துள்ளர். இக்கோதுமைக்கு, வெப்பநிலை சார்ந்து நிகழும் முதல் ஆக்க நிலையின் போது தாழ்வெப்பநிலை தேவைப்படுகிறது. இதன் பின்னர் ஒளிசார்ந்து நிகழும் அடுத்த ஆக்கநிலை தொடங்குகிறது. இவற்றுள் வெப்பநிலை சார்ந்த முதல் நிலையினை வேகப்படுத்த தட்பப்பதனச் செயல் உதவுகிறது. இதனால் தாவரத்தின் தழை உடலப்பருவம் குறைந்து இனப்பெருக்கப் பருவத்தினுள் விரைந்து செல்கிறது என்பதே லைசென்கோ கோட்பாட்டின் ஆய்வுக் கருத்தாகும்.

(2) ஹார்மோன் கோட்பாடு (Hormonal theory)

கருவின் தண்டு நுனிப் பகுதியில் உண்டாகும் வெர்னாலின் என்ற ஹார்மோன் உதவியால் தட்பப்பதன விளைவு நிகழ்கிறது என்பதே இக்கோட்பாட்டின் அடிப்படைக் கருத்தாகும். இதனடிப்படையில் முதலில் வந்த கோட்பாடு 1947–இல், மெல்செர்ஸ் (Melchers) என்பவர் தந்த கோட்பாடாகும். இதன் திட்ட வரைவு பின்வருமாறு:



இங்கு 'A' என்பது முன்னோடிச் சேர்மமாகும். 'B' என்பது தாழ்வெப்பநிலைக்கு உட்பட்டபின் A-யிலிருந்து உருவாகும் வெப்பஉணர்வுத் திறன்மிக்க சேர்மமாகும். 'C' என்பது, இயல்பான வெப்பநிலையின் போது 'B' யிலிருந்து உருவாகும் வெர்னாலின் சேர்மமாகும். இதுவே பூத்தலைத் தூண்டும் ஹார்மோனாகக் கருதப்படுகிறது. 'B' சேர்மம் உயர் வெப்ப நிலையில் சிதைந்து உண்டாகும் சேர்மம் 'D'-ஆகும். இந்நிலையில் தட்பப்பதன விளைவு நீக்கப்படுகிறது.

இதே கருத்தை ஏற்றுக்கொண்ட லாங் (Lang) என்பவர், தாழ்வெப்பநிலையுடன், உகந்த ஒளிக்காலமும் தேவைப்படுகிறது என்ற கருத்தை 1965இல் வெளியிட்டார். குறிப்பாகத் தாழ்வெப்பநிலை தேவைப்படும் நீள்நாள் தாவரங்களுக்கு இது மிகவும் இன்றியமையாதது என இவர் கருதினார். ஏனெனில், இந்த உகந்த ஒளிக்காலத்தில் வெர்னாலின் சேர்மம், ஃபிளோரிஜென் என்ற பூத்தலைத் தூண்டும் ஹார்மோனாக மாறுகிறது. எனவே வெர்னாலினை நேரடியாக, பூத்தலைத் தூண்டும் சேர்மமாகக் கருத முடியாது என்பதே இவரது கோட்பாட்டின் அடிப்படைக் கருத்தாகும்.

1968இல் சைலக்கியான் மற்றொரு கருத்தை வெளியிட்டார். இயல்பாக வளரும் நீள் நாள் தாவரங்களில் குளிர்காலத்திற்குப் பிறகு உருவான வெர்னாலின், தாவரத்திற்கு உகந்த ஒளிக்காலம் (தீர்வுகட்ட நேரத்தை விட உயர்வான ஒளிக்காலம்) கிடைத்ததும் ஜிப்பெரெல்லினாக மாறுகிறது. இதுவே பூத்தலைத் தூண்டக் காரணமாக உள்ளது. எனவே தான் ஜிப்பெரெல்லின் நீள்நாள் தாவரங்களில் ஃபிளோரிஜென் ஹார்மோனாகச் செயல்படுகிறது என்பதே இவரது கருத்தாகும்.

8.4. தட்பப்பதனத்தின் நடைமுறை பயன்பாடுகள்

1. இது தாவரத்தின் தழை உடலப் பருவத்தின் கால அளவைக் குறைக்க உதவுகிறது. எனவே சில தானியத் தாவரங்களில் இதை நடைமுறைப்படுத்தி மிக வேகமாக விளைச்சலைப் பெறமுடியும்.
2. தாவரத்தின் தாழ்வெப்பநிலை தாங்கு திறனை உயர்த்த இது உதவுகிறது.
3. இயற்கையில் இனப்பெருக்கம் செய்ய முடியாத பகுதிகளில் சில பயிர்களை வளர்த்துப் பயன்பெற இச்செயல் உதவுகிறது.
4. இருபருவத் தாவரங்களில் பயிர்ப்பெருக்க முறைக்காக, பூக்கள் உருவாதலைத் துரிதப்படுத்த, இது பெரிதும் உதவுகிறது.
5. சில பூஞ்சை நோய்களுக்கு எதிர்ப்புத் திறனை, சில தாவரங்களில் அதிகப்படுத்த இச்செயல் உதவுவதாகக் கருதப்படுகிறது.

9. கார்போஹைட்ரேட்டுகள் (Carbohydrates)

சாக்கரைடுகள் (Saccharides) என அழைக்கப்படும் கார்போஹைட்ரேட்டுகள் பெரும்பாலான உயிரினங்களின் வாழ்விற்கு உதவும் பணியாளர்களாகக் கருதப்படுகின்றன. உயிர்ப்பொருள் என்ற அடிப்படையில் நோக்கும்போது இயற்கையில் காணப்படும் உயிர் மூலக்கூறுகளில் மிக அதிக அளவில் காணப்படுவது கார்போஹைட்ரேட்டுகளே ஆகும். விலங்கினங்களை விடத் தாவரங்களில் இவற்றின் அளவு மிக அதிகம் உள்ளது.

வேதியமைப்பின் அடிப்படையில், இவை பாலிஹைட்ராக்ஸி ஆல்டிஹைடுகள் அல்லது கீட்டோன் சேர்மங்கள் எனக் கருதப் படுகின்றன. சிலசமயம் இச்சேர்மங்களின் வழித்தோன்றல்கள் அல்லது நீராற்பகுப்பின் மூலம் இச்சேர்மங்களை உருவாக்கும் வேதிப் பொருட்கள் ஆகிய யாவும் கார்போஹைட்ரேட்டுகளாகவே வரையறுக்கப்படுகின்றன.

உயிரினங்களின் தனிப்பட்ட அல்லது ஒட்டுமொத்த செயல் பாடுகளுக்கு மிகவும் இன்றியமையாதிருப்பது கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்றச்செயலாகும். அனைத்துக் கரிம உணவுப் பெருட்களும், அடிப்படையில், ஒளிச்சேர்க்கைச் செயலால் உருவாகும் கார்போஹைட்ரேட்டுகளிலிருந்து தோன்றிய சேர்மங்களாகவே உள்ளன.

உயிர் நிகழ்விற்கான பணிகளுக்குத் தேவையான பெரும்பகுதி ஆற்றல் கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் சிதைமாற்றச் செயல்மூலம் கிடைக்கிறது. இவ்வாறு இவை ஆற்றல் கொள்கலன்களாகத் திகழ்வதுடன், உயிரினங்களில் காணப்படும் உட்கரு அமிலங்கள் போன்ற பல்வேறு பெரு மூலக்கூறுகளின் பகுதிப்பொருட்களாகவும் திகழ்கின்றன.

9.1. கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் வகைப்பாடு

மூலக்கூறு அமைப்பின் சிக்கல் தன்மை, நீராற்பகுப்புச் செயல் தன்மை ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் கார்போஹைட்ரேட்டுகள் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன:

9.1.1. மோனோசாக்கரைடுகள்

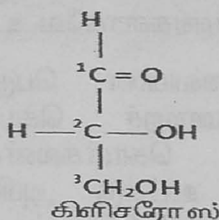
கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் மிக எளிமையான இவை சர்க்கரைகள் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. சிக்கலான பிற உயர் கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் அடிப்படை அமைப்பு அலகுகளாக இவை திகழ்கின்றன. இவற்றை நீராற்பகுப்படையச்செய்ய முடியாது. இனிப்புச்சுவையும், படிகத்தன்மையும் பெற்ற இவை நீரில் கரையக்கூடியவை. இயல்திறன் மிக்க ஆல்டிஹைடு அல்லது கீட்டோ தொகுப்புகளில் ஒன்றைப் பெற்றிருப்பதால், இவற்றிற்குக் குறைதலுறச்

செய்யும் தன்மையுள்ளது. ஆல்டிஹைடு தொகுப்பைப் பெற்றவை ஆல்டோஸ்கள் (aldoses) என்றும் கீட்டோ தொகுப்பைப் பெற்றவை கீட்டோஸ்கள் (ketoses) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. ஆல்டோஸ்களில், குறைதலுறச் செய்யும் மையமாகிய ஆல்டிஹைடு தொகுப்பு முதல் கார்பனிலும், கீட்டோஸ்களில் இம்மையமாகிய கீட்டோ தொகுப்பு இரண்டாவது கார்பனிலும் காணப்படுகின்றன. மோனோசாக்கரைடுகள் சில பின்வருமாறு:

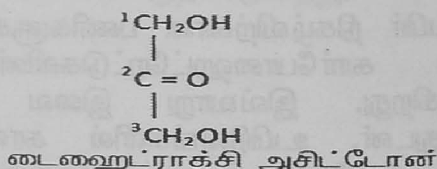
அ. டிரையேஸ்கள் ($C_3 H_6 O_3$)

கிளிசரோஸ் (glycerose) அல்லது கிளிசரால்டிஹைடு (glyceraldehyde) என்ற ஆல்டோஸ் சாக்கரையும், டைஹைட்ராக்சி அசிட்டோன் (dihydroxy acetone) என்ற கீட்டோஸ் சர்க்கரையும் இவற்றிற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். பொதுவாக இவை இரண்டும் ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசரால்டிஹைடு (phosphoglyceraldehyde), டைஹைட்ராக்சி அசிட்டோன் ஃபாஸ்ஃபேட் (dihydroxy acetone phosphate) என்ற ஃபாஸ்ஃபேட் இணைந்த எஸ்டர்களாகக் காணப்படுகின்றன (படம்–51).

படம்-51



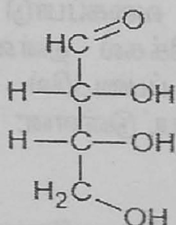
கிளிசரோஸ்



டைஹைட்ராக்சி அசிட்டோன்

ஆ. டெட்ரேஸ்கள் ($C_4 H_8 O_4$)

படம்-52



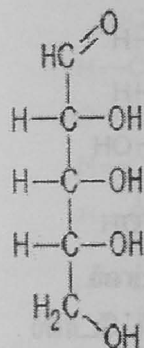
எரித்ரோஸ்

எரித்ரோஸ் (erythrose) என்ற ஆல்டோஸ் சர்க்கரையே உயிரினங்களில் அதிகம் காணப்படும் டெட்ரோஸ் சர்க்கரைகளாகும் (படம்-52).

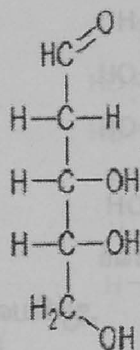
இ. பெண்டோஸ்கள் ($C_5 H_{10} O_5$)

ரிபோஸ் (ribose), டிஆக்சிரிபோஸ் (deoxyribose), ஸைலோஸ், (xylose), அராபினோஸ் (arabinose) ஆகியவை ஆல்டோஸ் சர்க்கரைகளாகத் திகழும் பெண்டோஸ்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும் (படம்-53).

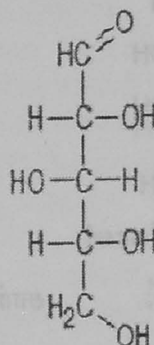
படம்-53



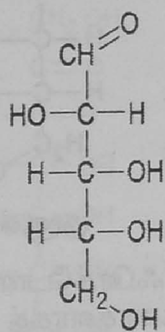
ரிபோஸ்



டிஆக்சிரிபோஸ்



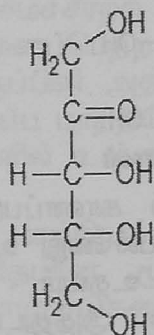
ஸைலோஸ்



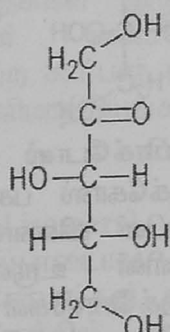
அராபினோஸ்

ரிபுலோஸ், ஸைலுலோஸ் ஆகியவை கீட்டோஸ் சர்க்கரைகளாகத் திகழும் பெண்டோஸ்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். பெண்டோஸ்களில், டிஆக்சிரிபோஸ், ரிபோஸ் ஆகியவை முறையே DNA, RNA என்ற உட்கரு அமிலங்களில் பகுதிக்கூறுகளாகக் காணப்படுகின்றன (படம்–54).

படம்-54



ரிபுலோஸ்



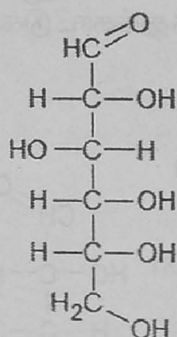
ஸைலுலோஸ்

ஈ. ஹெக்சோஸ்கள் ($C_6 H_{12} O_6$)

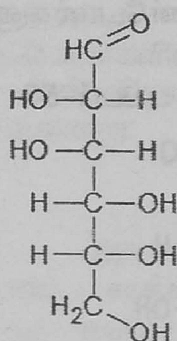
தாவர உலகில் மிக அதிகம் காணப்படும் கார்போஹைட்ரேட்டுகள் இவையாகும். குளூக்கோஸ், மேனோஸ், கேலக்டோஸ் ஆகியவை

ஆல்டோஸ் சர்க்கரைகளாகத் திகழும் ஹெக்சோஸ்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும (படம்-55).

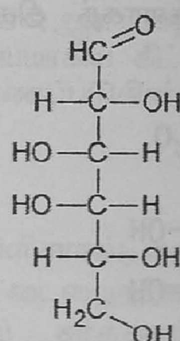
படம்-55



குளுக்கோஸ்



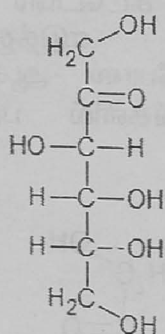
மேனோஸ்



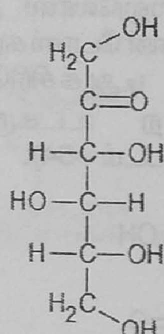
கேலக்டோஸ்

ஃபிரக்டோஸ், சார்போஸ் ஆகியவை கீட்டோஸ் சர்க்கரைகளாகத் திகழும் ஹெக்சோஸ்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும் (படம்-56).

படம்-56



ஃபிரக்டோஸ்



சார்போஸ்

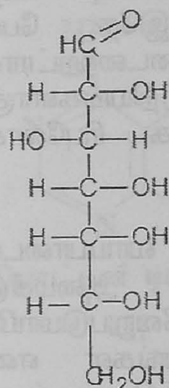
இவற்றுள் குளுக்கோஸ் பசுந்தாவரங்களில் காணப்படும் முதல் நிலை ஒளிச்சேர்க்கையின் விளைபொருளாகும். பல்வேறு உயர் நிலை கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் உருவாக்கத்திற்கு உதவும் அடிப்படை மூலக்கூறுகளாக ஹெக்சோஸ்கள் திகழ்கின்றன. அத்துடன் எல்லா உயிரினங்களிலும் ஆற்றலைத் தந்து உதவும் சுவாசத் தளப்போருளாக குளுக்கோஸ் திகழ்வதும் குறிப்பிடத்தக்கது. பழங்கள், தேன் ஆகியவற்றில் காணப்படக்கூடிய முக்கியமான ஹெக்சோஸ் சர்க்கரை ஃபிரக்டோஸ் ஆகும். பாலில் காணப்படும் முக்கிய சர்க்கரை லேக்டோஸ் ஆகும்.

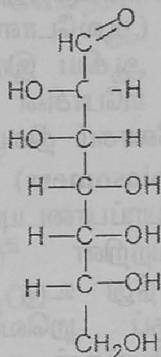
உ. ஹெப்டோஸ்கள் ($C_7 H_{14} O_7$)

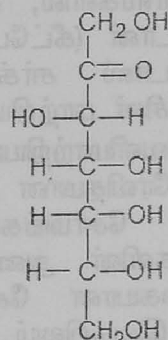
தாவரங்களில் ஒளிச்சேர்க்கைச் செயலின்போதும், விலங்கினங்களில் குளுக்கோஸ் வளர்சிதை மாற்றத்தின்போதும்

தோன்றக் கூடிய இடைப்பொருட்கள் இவைகளாகும். தாவரங்களில் மிக அரிதாக இவை சேகரிக்கப்படுகின்றன. குளுக்கோஹெப்டோஸ், மேனோஹெப்டோஸ் ஆகியவை ஆல்டோஸ் சர்க்கரைகளுக்கும், சீடோஹெப்டுலோஸ் கீட்டோஸ் சர்க்கரைக்கும் எடுத்துக்காட்டுகளாகும் (படம்-57).

படம்-57







குளுக்கோஹெப்டோஸ் மேனோஹெப்டோஸ் சீடோஹெப்டுலோஸ்

9.1.1.1. மோனோசாக்கரைடுகளின் மாற்றியங்கள் (Isomers of Monosaccharides)

ஒரே வகையான மூலக்கூறு வாய்பாடைப் பெற்ற வெவ்வேறு சேர்மங்கள் மாற்றியங்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. கார்போஹைட்ரேட்டுகளுக்கு மாற்றியப் பண்பு வருவதற்குக் காரணம் அவற்றில் சமச்சீரற்ற கார்பன் அணுக்கள் இருப்பதேயாகும். நான்கு இணைதிறனைப்பெற்ற கார்பனுடன் வெவ்வேறு தொகுப்புகள் பிணைந்திருப்பின் அதற்குச் சமச்சீரற்ற கார்பன் என்று பெயர்.

அமைப்பு மாற்றியங்கள், புறவெளிமாற்றியங்கள் என இருவகைகள் மாற்றியங்களில் உள்ளன.

i). அமைப்பு மாற்றியங்கள் (Structural isomers)

ஒரேவிதமான மூலக்கூறு வாய்பாடையும் ஆனால் வெவ்வேறு அமைப்பு வாய்பாடுகளையும் பெற்ற சேர்மங்கள் அமைப்பு மாற்றியங்கள் எனப்படுகின்றன. சங்கிலியின் நீளத்தில் ஏற்படும் மாற்றத்தால் அமைப்பு வேறுபாடு தோன்றுமாயின் அதற்குச் சங்கிலி மாற்றியம் (chain isomer) என்று பெயர். மாறாக, செயலாக்கத் திறன் கொண்ட தொகுப்புகள் வேறுபட்டிருப்பதால் உண்டாகும் மாற்றியங்கள் செயலாக்கத் தொகுப்பு மாற்றியங்கள் (functional group isomers) எனப்படுகின்றன. இவற்றுள் கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் இரண்டாவது வகை அதிகம் காணப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக ஒவ்வொரு

மோனோசாக்கரைடு சேர்மத்திலும் காணப்படும் ஆல்டோஸ் வகையும், கீட்டோஸ் வகையும் அதன் மாற்றியங்களாகும். அந்த வகையில் குளுகோசும் ஃபிரக்டோசும் மாற்றியங்களூாகும். இவை இரண்டின் மூலக்கூறு வாய்பாடு $C_6 H_{12} O_6$ என்றிருந்தபோதிலும் அமைப்பில் குளுகோசின் முதல் கார்பன் ஆல்டிஹைடு தொகுப்பையும், ஃபிரக்டோசின் இரண்டாவது கார்பன் கீட்டோ தொகுப்பையும் பெற்று அமைப்பு வேறுபாட்டை வெளிப்படுத்துகின்றன. இதே போல், டிரையோஸ்களில், கிளிசரோஸ் (ஆல்டோஸ் வகை), டைஹைட்ராக்சி அசிட்டோன் (கீட்டோஸ் வகை) ஆகிய இரண்டும் மாற்றியங்களாகும். பெண்டோஸ் சர்க்கரைகளில் ரிபோசின் மாற்றியமாக ரிபுலோசும், சைலோசின் மாற்றியமாக சைலுலோசும் திகழ்கின்றன.

ii). புறவெளிமாற்றியங்கள் (Sterioiosomers)

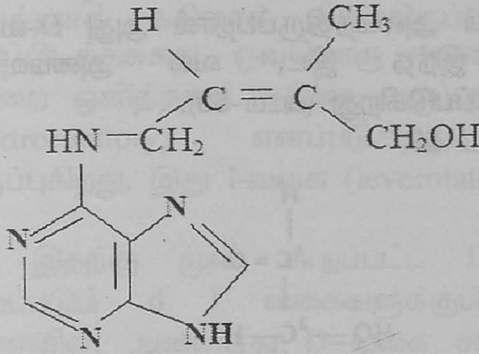
ஒரேவிதமான மூலக்கூறு வாய்பாடையும், அமைப்பு வாய்பாடையும் பெற்ற சேர்மங்களில், அவற்றின் மூலக்கூறை அமைக்கும் அணுக்களின் அமைவிடம் சார்ந்து உரு அமைப்பு வேறுபடுமாயின், அவ்வகையான சேர்மங்களுக்குப் புறவெளி மாற்றியங்கள் என்று பெயர். இவற்றிலும் வடிவ மாற்றியங்கள், ஒளியியல் மாற்றியங்கள் என இரு வகைகள் உள்ளன.

அ) வடிவ மாற்றியங்கள் (Geometrical Isomers)

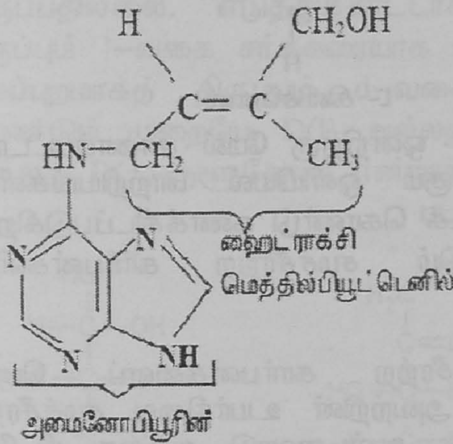
இவை சிஸ்–டிரான்ஸ் (cis-trans) மாற்றியங்கள் எனப்படுகின்றன. கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் இவை இல்லை. எனினும், சைட்டோகைனின் சேர்மமாகிய ஜியாட்டின் இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும். அமைனோ பியூரினுடன், ஹைட்ராக்சி மெத்தில் பியூட்டனில் இணைந்து உண்டாகும் சேர்மம் இதுவாகும் (படம்-58).

படம்-58

ஜியாட்டின் சிஸ் வகை



ஜியாட்டின் டிரான்ஸ் வகை



அமைனோபியூரின்

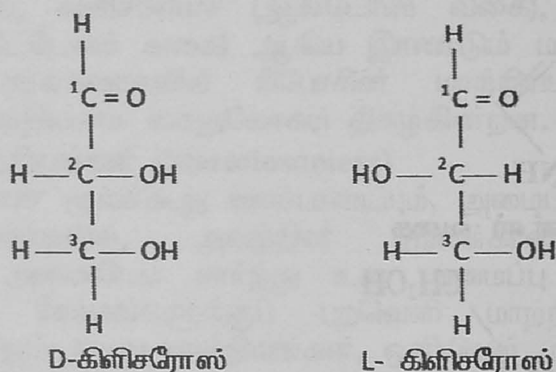
இதன் ஹைட்ராக்சி மெத்தில் பியூட்டனில் பெற்றுள்ள CH_2OH, CH_3 தொகுப்புகளின் அமைவிடத்தைக் கொண்டு சிஸ் வகை, டிரான்ஸ் வகை என இரு வகைகள் அறியப்பட்டுள்ளன. CH_2OH தொகுப்புக் கீழாகவும், CH_3 தொகுப்பு மேலாகவும் அமைந்திருப்பின் அது சிஸ் வகை என்றும், மாறி அமைந்திருப்பின் அது டிரான்ஸ் வகை என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

ஆ) ஒளியியல் மாற்றியங்கள் (Optical Isomers)

ஏறத்தாழ அனைத்து மோனோசாக்கரைடுகளிலும் இந்த வகை மாற்றியங்கள் பொதுவாகக் காணப்படுகின்றன. இவை எனன்ஷியோமெர்கள் (enantiomers) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. சமச்சீரற்ற கார்பனைச் சுற்றியுள்ள புறவெளிகளில், அதனுடன் இணைநதுள்ள அணுக்கள் அல்லது அணுக்களின் தொகுப்புகள், பல்வேறு இடமாற்ற அமைவுகளைப் பெறுவதன் மூலம் இம்மாற்றியங்கள் தோன்றுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, கிளிசரோசில் உள்ள ஒரே ஒரு

சமசீரற்ற கார்பன் அணு (கார்பன் எண் –2) இரு வித அமைவுகளை வெளிப்படுத்துகிறது. ஒன்றில், இந்த இரண்டாம் கார்பனுடன் இணைந்துள்ள ஹைட்ராக்சில் (-OH) தொகுப்பு வலப்புறமாகவும், ஹைட்ரஜன் அணு இடப்புறமாகவும் அமைந்திருப்பதால் அது D-வகை எனப்படுகிறது. மற்றொன்றில் இந்த இட, வல அமைவுகள் மாறியிருப்பதால் அது L-வகை எனப்படுகிறது (படம்-59).

படம்-59



சமச்சீரற்ற கார்பன் அணுக்கள் ஒன்றிற்கு மேல் காணப்பட்டால், அவ்வகைச் சேர்மங்களில் உருவாகும் ஒளியியல் மாற்றியங்களின் எண்ணிக்கை 2n என்ற வாய்பாட்டைக் கொண்டு கணக்கிடப்படுகிறது. இதில் 'n' என்பது காணப்படும் சமச்சீரற்ற கார்பன்களின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கிறது.

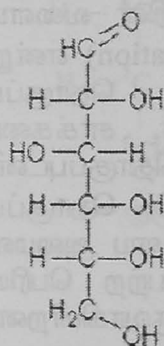
ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட சமச்சீரற்ற கார்பன்களைப் பெற்ற மோனோசாக்கரைடு சேர்மங்களில், அவற்றின் உயர்நிலை சமச்சீரற்ற கார்பன் அணுவில் உள்ள (அதாவது, ஆல்டிஹைடு அல்லது கீட்டோ தொகுப்பைப் பெற்ற கார்பனிலிருந்து தூரவிலகியுள்ள சமச்சீரற்ற கார்பன் அணுவில் உள்ள) ஹைட்ராக்சில் தொகுப்பு, ஹைட்ரஜன் அணு ஆகியவற்றின் இட, வல அமைவைக் கொண்டு D-வகை, L-வகை ஆகியவை தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. மனித உடலில் காணப்படும் பெரும்பாலான மோனோசாக்கரைடுகள் D-வகை சர்க்கரைகளாக உள்ளன, மிகச் சில சர்க்கரைகளே L-வகை சர்க்கரைகளாக உள்ளன. L- அராபினோஸ் இதற்கு எடுத்துக் காட்டாகும்.

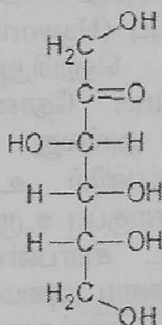
ஒரு மோனோசாக்கரைடில் காணப்படும் D, L வகைகள் அதன் எனன்ஷியோமெர் இணை எனப்படுகின்றன. D–எரித்ரோஸ், L–எரித்ரோஸ் ஓர் இணையென்றால், D–குளூகோஸ், L–குளூகோஸ் மற்றொரு இணையாகும். இந்த எனன்ஷியோமெர்கள் இரட்டை பிம்ப மாற்றியங்களாகவே உள்ளன. ஒரே மூலக்கூறின் ஒன்றன்மேல் ஒன்றாக

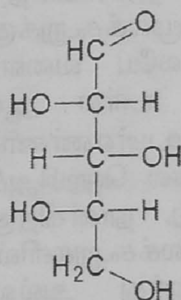
அமைந்த கண்ணாடி பிம்பங்களாக இருப்பதில்லை. இவ்வகை மாற்றியங்கள் ஒரே விதமான உருகுநிலை புள்ளியையும், கரைபடும் தன்மையையும் பெற்றிருந்தாலும், ஒளித்தளத் திருப்புமாணியில், ஒற்றை ஒளித்தளக் கதிரைத் திசைதிருப்பும் தன்மையில் வேறுபட்டிருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. ஒவ்வொரு எனன்ஷியோமெர் இணையிலும் ஒன்று, ஒற்றை ஒளித்தளக் கதிரை வலப்பறமாகத் திரப்புகிறது. இது d-வகை (dextrorotatory) எனப்படுகிறது. மற்றொன்று இடப்புறமாகத் திருப்புகிறது. இது l-வகை (levorotatory) எனப்படுகிறது.

இதற்கு முன் கூறப்பட்ட D, L வகைகளுக்கும், தற்போது கூறப்படும் d, l வகைகளுக்கும் எந்தவித உறவுமிருப்பதில்லை. ஏனெனில், அனைத்து D–வகை சர்க்கரைகளும் ஒற்றை ஒளித்தளக் கதிரை வலப்பறமாகத் திருப்புவதில்லை, அதாவது, d–வகையாக இருப்பதில்லை. எடுத்துக்காட்டாக D–ஃபிரக்டோஸ், இடப்புறமாகத் திருப்பும் l–வகை சர்க்கரையாக உள்ளது. ஆனால், D–குளூக்கோஸ், வலப்புறமாகத் திருப்பும் d–வகை சர்க்கரையாக உள்ளது. இவை இரண்டும் முறையே, D(l) அல்லது D(-)–ஃபிரக்டோஸ் என்றும், D(d) அல்லது D(+)-குளூகோஸ் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன (படம்-60).

படம்-60







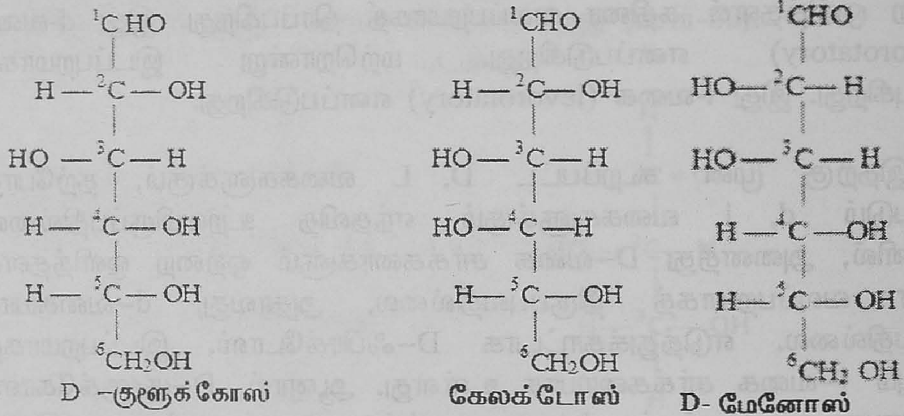
D(d)/D(+)–குளூக்கோஸ் D(l)/D(-)-ஃபிரக்டோஸ் L(d)/L(+)-அராபினோஸ்

iii). எபிமெர்கள் (Epimers)

கார்பானில் அணு தவிரப் பிற கார்பன் அணுக்களில் ஒன்றில் மட்டும் அணுத்திரள் அமைவுமுறையில் வேறுபட்ட வெவ்வேறு வகையான சர்க்கரைகள் எபிமெர்கள் எனப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, குளூகோசும், கேலக்டோசும் அவற்றின் நான்காவது கார்பனின் அணுத்திரள் அமைவில் மட்டுமே வேறுபட்டிருப்பதால், இவை இரண்டும் எபிமெர்கள் எனப்படுகின்றன. இதேபோல் குளூகோசும், மேனோசும் இரண்டாவது சமச்சீரற்ற கார்பனில் மட்டும்

வேறுபட்ட எபிமெர்களாகும். எபிமெர்கள் வேறுபட்ட சேர்மங்களாக இருப்பதால் இவற்றின் உருகுநிலை புள்ளி, கரைதிறன் இயல்பு, பொதுவான வேதிஇயல்பு ஆகிய அனைத்தும் வேறுபட்டிருப்பது இயற்கையே (படம்-61).

படம்-61



9.1.1.2. மோனோசாக்கரைடுகளில் வளைய அமைப்புகள் (Ring Structures of Monosaccharides)

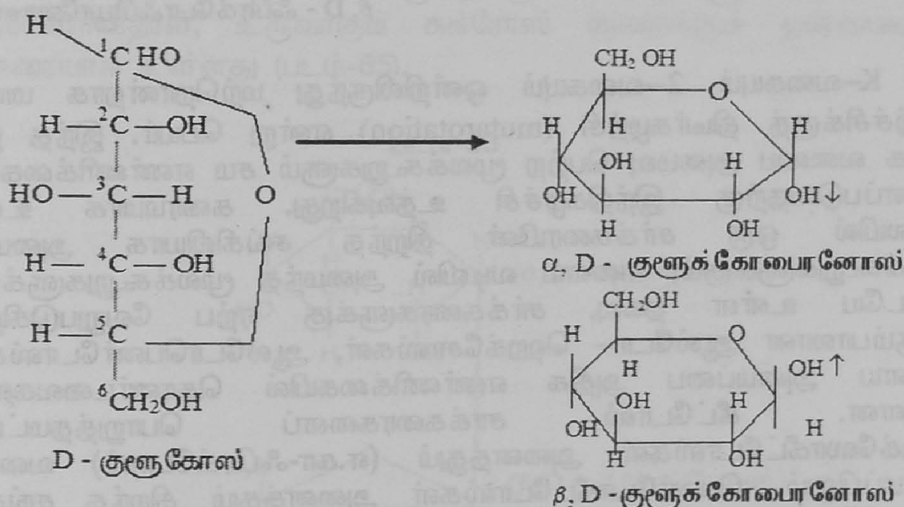
மோனோசாக்கரைடுகள் பல, திறந்த சங்கிலி அமைப்புடன், வளைய அமைப்புகளையும் வெளிப்படுத்துகின்றன. இவற்றின் வளைய அமைப்பிற்கு ஹாவொர்த் உருவமைப்பு (Haworth representation) என்று பெயர். மூலக்கூறுக்குள்ளாக ஹெமிஅசிட்டால் தொகுப்பு உருவாவதாலேயே வளைய அமைப்புக் தோன்றுகின்றன. சர்க்கரை மூலக்கூறில் உள்ள ஆல்டிஹைடு அல்லது கீட்டோ தொகுப்புடன், சமச்சீரற்ற உயர்எண்ணிக்கை கார்பனில் உள்ள -OH தொகுப்பு வினைபுரிவதால் ஹெமிஅசிட்டால் தொகுப்பு உருவாகி, வளைய அமைவு தோன்றுகிறது. நான்கிற்கு மேற்பட்ட கார்பன்களைப் பெற்ற பெரிய சர்க்கரை மூலக்கூறுகளில் இந்த வளைய அமைப்புகள் உருவாகின்றன. இதனால் ஐந்து அல்லது ஆறு கரங்களைப் பெற்ற வளைய அமைப்புகள் தோன்றுகின்றன. இவற்றுள் ஐந்து கர வளையங்கள் ஃபியூரனோஸ் (furanose) வளையங்கள் என்றும், ஆறு கர வளையங்கள் பைரனோஸ் (pyranose) வளையங்கள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

அனைத்து ஆல்டோ ஹெக்சோஸ்களிலும், ஹாவொர்த் வளையம் உருவாக உதவும் ஹெமிஅசிட்டால் வினை அவற்றின் முதல் கார்பனுக்கும் ஐந்தாவது கார்பனுக்குமிடையே நிகழ்வதால் ஆறு கரங்களைப் பெற்ற பைரனோஸ் வளையங்கள் உருவாகின்றன. அனைத்து ஹெக்சோகீட்டோஸ்களிலும், இந்த ஹெமிஅசிட்டால் வினை

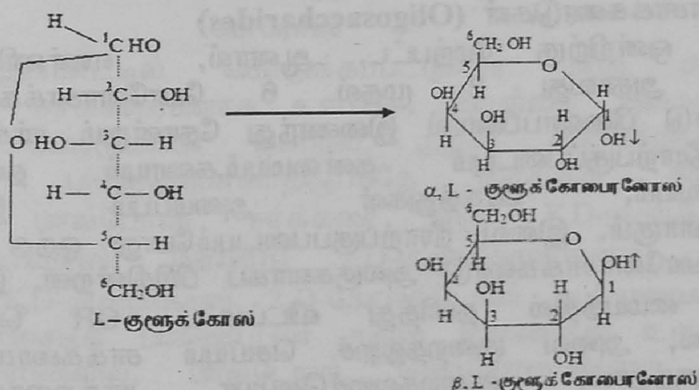
அவற்றின் இரண்டாவது கார்பனுக்கும் ஐந்தாவது கார்பனுக்குமிடையே நிகழ்வதால் ஐந்து கரங்களைப் பெற்ற ஃபியூரனோஸ் வளையங்கள் உருவாகின்றன.

ஹாவொர்த் வளைய அமைப்பபில் இருக்கும்போது, அதன் குறைதல் மையத்தில், அதாவது ஆல்டிஹைடு தொகுப்பு உள்ள கார்பனில் (ஆல்டோஸ்களில் முதல் கர்பன்) அல்லது கீட்டோ தொகுப்பு உள்ள கார்பனில் (கீட்டோஸ்களில் இரண்டாவாது கார்பன்), காணப்படும் -OH தொகுப்பு, வளையதளத்திற்குக் கீழாக அமைந்திருப்பின் அவ்வகை வளையம் K–வகை வளையம் எனவும், இதற்கு மாறாக, வளையதளத்திற்கு மேலாக -OH தொகுப்பு அமைந்திருப்பின் அவ்வகை வளையம் 2-வகை வளையம் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன (படம்-62,63,64).

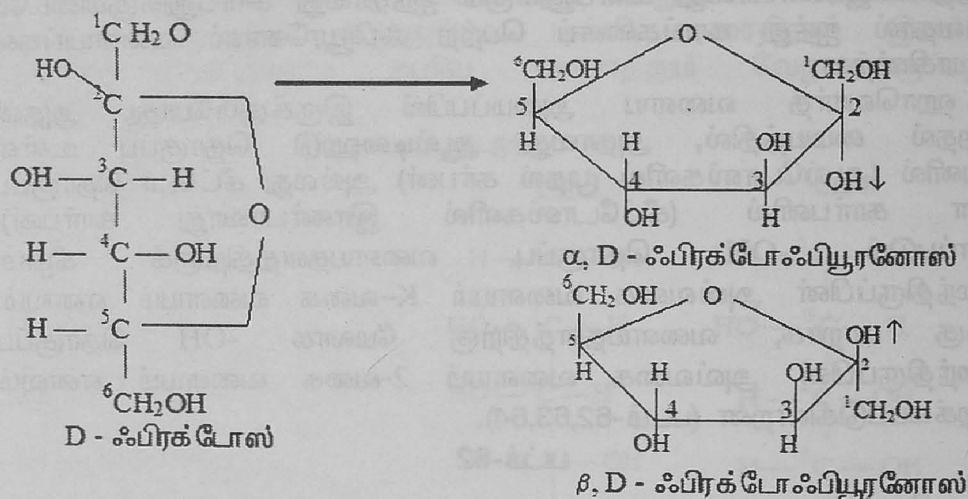
படம்-62



படம்-63



படம்-64



K–வகையும் 2–வகையும் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றாக மாறும் நிகழ்ச்சிக்குத் திடீர்சுழற்சி (mutarotation) என்று பெயர். இந்த இரு வகை வளைய அமைவு பெற்ற மூலக்கூறுகளும் சம எண்ணிக்கையில் காணப்படுவதற்கு இந்நிகழ்ச்சி உதவுகிறது. கரைமமாக உள்ள நிலையில் ஒரு சர்க்கரையின் திறந்த சங்கிலியாக அமைந்த மூலக்கூறுகளுக்கும், வளைய வடிவில் அமைந்த மூலக்கூறுகளுக்கும் இடையே உள்ள தகவு, சர்க்கரைகளுக்கு ஏற்ப வேறுபடுகிறது. பெரும்பாலான ஆல்டோ– ஹெக்சோஸ்கள், ஆல்டோபெண்டோஸ்கள், வளைய அமைப்பை அதிக எண்ணிக்கையில் கொண்டவைகளாக உள்ளன. கீட்டோஸ் சாக்கரைகளைப் பொறுத்தமட்டில், ஹெக்ஸோகீட்டோஸ்கள் அனைத்தும் (எ.கா-ஃபிரக்டோஸ்) வளைய அமைப்பிலும், பெண்டோகீட்டோஸ்கள் அனைத்தும் திறந்த சங்கிலி அமைப்பிலும் காணப்படுகின்றன.

9.2. ஒலிகோசாக்கரைடுகள் (Oligosaccharides)

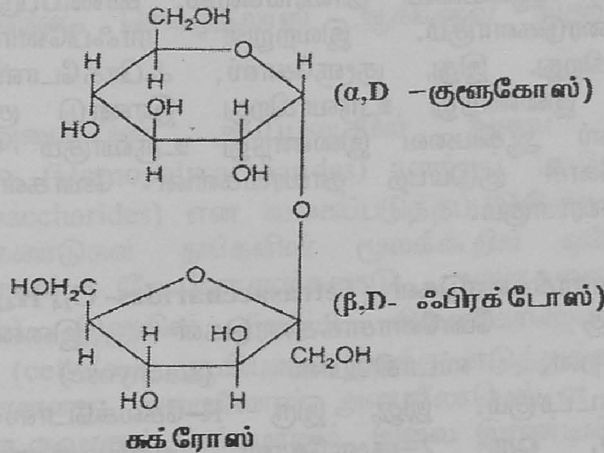
இவை ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட, ஆனால், எண்ணிக்கையில் குறைவான, அதாவது 2 முதல் 6 மோனோசாக்கரைடுகள், கிளைகோசைடு பிணைப்பினால் இணைந்து தோன்றும் சர்க்கரைகள் ஆகும். நீராற்பகுப்படையும் தன்மையும்,கரையும் தன்மையும், இனிப்புச்சுவையும், படிகத்துகள் அமைப்பும் இவற்றின் சிறப்பியல்புகளாகும். இவை நீராற்பகுப்படையும்போது ஒத்த அல்லது வேறுபட்ட மோனோசாக்கரைடு அலகுகளாகப் பிரிகின்றன. இவற்றின் குறைக்கும் மையத்தில் தனித்து விடப்பட்ட -OH தொகுப்புக் காணப்பட்டால், அவை குறைதலுறச் செய்யும் சாக்கரைகளாகவும், காணப்படாதிருந்தால், குறைதலுறச்செய்யா சர்க்கரைகளாகவும்

விளங்குகின்றன. காணப்படும் மோனோசாக்கரைடுகளின் எண்ணிக்கையின் அடிப்படையில் இவை கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

9.2.1 டைசாக்கரைடுகள் (Disaccharides- $C_{12}H_{22}O_{11}$)

இரண்டு மோனோசாக்கரைடுகள் இணைந்து உருவாகும் இவற்றிற்குக் சுக்ரோஸ் (sucrose), மால்டோஸ் (maltose), செல்லோபையோஸ் (cellobiose), லேக்டோஸ் (lactose) ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இவற்றுள் கரும்புச் சர்க்கரை எனப்படும் சுக்ரோஸ், ஒரு ஆல்டோஸ் சர்க்கரையையும் (K,D-குளுக்கோஸ்), ஒரு கீட்டோஸ் சர்க்கரையையும் (2,D- ஃபிரக்டோஸ்), C1-C2 கிளைக்கோசைடிக் பிணைப்பின் மூலம் இணைத்து உருவாகிறது. இந்த இரு மோனோசாக்கரைடுகளின் குறைக்கும் மையங்களும் பிணைப்பில் பங்குகொள்வதால், உருவாகும் சுக்ரோஸ் குறைக்கும் தன்மையற்ற சர்க்கரையாக உள்ளது (படம்-65).

படம்-65

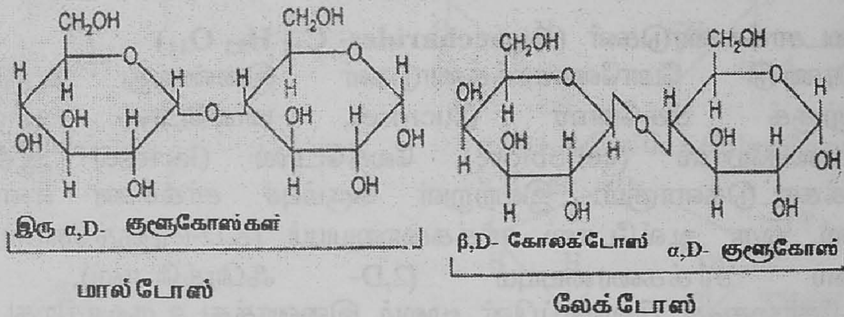


சுக்ரோஸ்

எடுத்துக்காட்டில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள மற்ற சர்க்கரைகள் குறைக்கும் சர்க்கரைகளாக உள்ளன. இவற்றை அமைக்கும் இரு மோனோசாக்கரைடுகளில் ஒன்றில், அதன் குறைக்கும் கார்பன் இணைவில் பங்குகொள்ளாதிருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். இவற்றுள் மால்டோஸ் சர்க்கரை இரு K,D-குளுகோஸ்களும், செல்லோபையோஸ், இரண்டு 2,D-குளுகோஸ்களும், லேக்டோஸ் சர்க்கரை, K,D-குளுகோஸ், 2,D-கோலக்டோஸ் ஆகியவையும், C1-C4 கிளைக்கோசைடிக் பிணைப்பின் மூலம் இணைந்து உருவாகின்றன. டைசாக்கரைடுகளில், மால்டோஸ், செல்லோபையோஸ் ஆகியவை, குளுகோஸ் சர்க்கரையால் மட்டும் ஆன ஒத்த

ஒலிகோசாக்கரைடுகளாகும். மற்றவை வெவ்வேறு சர்க்கரைகளால் ஆன மாற்று ஒலிகோசாக்கரைடுகளாகும் (படம்-66).

படம்-66



9.2.2. டிரைசாக்கரைடுகள் (Trisaccharides- $C_{18}H_{32}O_{16}$)

மூன்று மோனோசாக்கரைடுகள் இணைவதால் இவை உருவாகின்றன. ராஃபினோஸ் (raffinose), ஜென்ஷியனோஸ் (gentionose) ஆகியவை தாவரங்களில் காணப்படும் முக்கியமான டிரைசாக்கரைடுகளாகும். இவற்றுள் ராஃபினோஸ் பீட்ருட்டில் காணப்படுகிறது. இது, குளுகோஸ், ஃபிரக்டோஸ், கேலக்டோஸ் ஆகியவை இணைந்து உருவாகிறது. இரண்டு குளுகோஸ், ஒரு ஃபிரக்டோஸ் ஆகியவை இணைந்து உருவாகும் ஜென்ஷியனோஸ், ஜென்ஷியனேசி குடும்பத் தாவரங்களின் வேர்களில் காணப்படும் டிரைசாக்கரைடாகும்.

9.2.3. டெட்ராசாக்கரைடுகள் (Tetrasaccharides- $C_{24}H_{42}O_{21}$)

நான்கு மோனோசாக்கரைடுகள் இணைந்து இவை உருவாகின்றன. ஸ்டாகியோஸ் (stachyose) இதற்கு ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். இது, இரு K–கேலக்டோஸ்கள், ஒரு K–குளுகோஸ், ஒரு 2–குளுகோஸ் ஆகியவற்றால் ஆன ஒரு டெட்ராசாக்கரைடாகும்.

9.2.4. பென்டாசாக்கரைடுகள் (Pentasaccharides- $C_{30}H_{52}O_{26}$)

ஐந்து மோனோசாக்கரைடுகள் இணைந்து இவை உருவாகின்றன. வெர்பாஸ்கோஸ் (verbascose) இதற்கு ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். இது, மூன்று K–கேலக்டோஸ்கள், ஒரு K–குளுகோஸ், ஒரு 2–ஃபிரக்டோஸ் ஆகியவற்றால் ஆன ஒரு பெண்டாசாக்கரைடாகும்.

9.3. பாலிசாக்கரைடுகள் (Polysaccharides)

கணக்கற்ற (பொதுவாக ஆயிரக்கணக்கில்) மோனோசாக்கரைடு அலகுகள், கிளைத்த அல்லது கிளைத்தலற்ற சங்கிலி அமைவை உருவாக்கும் விதத்தில் இணைந்து தோன்றும் சேர்மங்கள் பாலிசாக்கரைடுகள் எனப்படுகின்றன. நீராற்பகுப்படையக்கூடிய இவை, இச்செயலின்போது, இவற்றை உருவாக்கிய மோனோசாக்கரைடு அலகுகளாகச் சிதைகின்றன. உருவற்ற நுண் துகள்களாகக் காணப்படும் இவை, சுவையற்ற, நீரில் கரையா, சர்க்கரையல்லா சேர்மங்கள் எனப்படுகின்றன.

9.3.1. பாலிசாக்கரைடுகளின் வகைப்பாடு

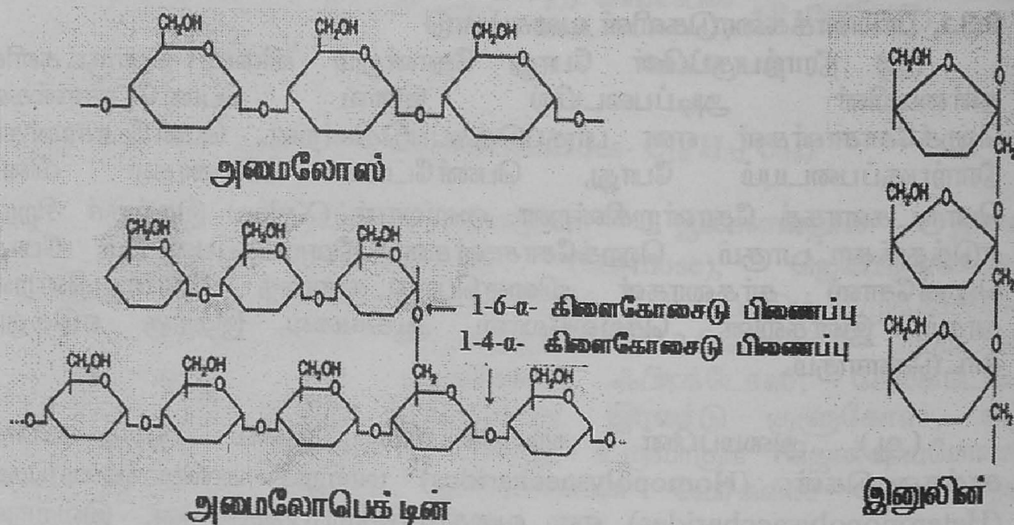
(அ) நீராற்பகுப்பின் போது தோன்றும் விளை பொருட்களின் தன்மையின் அடிப்படையில் இவை பெண்டோசான்கள், ஹெக்சோசான்கள் என பாகுபடுத்தப்படுகின்றன. பென்டோசான்கள் நீராற்பகுப்படையும் போது, பெண்டோஸ் சர்கரைகள் விளை பொருட்களாகத் தோன்றுகின்றன. ஸைலான் (Xylan) இதற்குச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும். ஹெக்சோசான்கள் நீராற்பகுப்படையும் போது, ஹெக்சோஸ் சர்கரைகள் விளைபொருட்களாகத் தோன்றுகின்றன. தரசம், இன்சுலின், செல்லுலோஸ் ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக் காட்டுகளாகும்.

(ஆ) அமைப்பின் அடிப்படையில் இவை ஒத்த பாலி சாக்கரைடுகள், (Homopolysaccharides) மாற்றுப் பாலிசாக்கரைடுகள் (Heteronopolysaccharides) என வகைப்படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றுள் ஒத்தபாலிசாக்கரைடுகள் தங்களின் மூலக்கூறில் ஒரே வகையான மானோமெர்களைப் (மோனோசாக்கரைடு அலகுகளை)பெற்றுள்ளன. தரசம் (starch), இனுலின் (inulin), கிளைகோஜென் (glycogen), செல்லுலோஸ் (cellulose) ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இவற்றுள் தரசமானது, அமைலோஸ், அமைலோபெக்டின் ஆகியவற்றின் செறிவிப்பால் உருவாகும் சேர்மமாகும். இவை இரண்டில் அமைலோஸ் ஒரு கிளைத்தலற்ற சங்கிலியாகும். பல K–குளூகோபைரனோஸ் மூலக்கூறுகள் 1-4-K-கிளைகோசைடு பிணைப்பால் இணைந்து இச்சங்கிலி உருவாகிறது. அமைலோபெக்டின், 300–5000 K-குளூகோபைரனோஸ்கள், அமைலோசில் உள்ளது போல் 1-4-K-கிளைகோசைடு பிணைப்பில் இணைந்த ஒரு சங்கிலியையும், அதனுடன் 1-6-K-கிளைகோசைடு பிணைப்பால் இணைந்த பக்கச் சங்கிலியும் பெற்ற இணைந்த சங்கிலியாக உள்ளது.

கணக்கற்ற 2-ஃபிரக்டோஃபியூரனோஸ் மூலக்கூறுகள் 2-1-2- கிளைகோசைடு பிணைப்பின் மூலம் இணைந்து நீண்ட சங்கிலி இனுலின் ஆகும்.

விலங்கினங்களிலும், பூஞ்சைகளிலும் காணப்படும் கிளைகோஜென் அமைலோபெக்டினை ஒத்தது. ஆனால் இது அதிக எண்ணிக்கையில் பக்கக் கிளைகளைப் பெற்றிருப்பதிலிருந்து இது வேறுபடுகிறது (படம்-67).

படம்-67



உயர் தாவரங்களின் செல்சுவர் பொருளான செல்லுலோஸ், 10,000 அல்லது அதற்கும் மேற்பட்ட 2-D-குளுகோபைரனோஸ் மூலக்கூறுகள் 1-42- கிளைகோசைடு பிணைப்பால் இணைந்து தோன்றும் கிளைத்தலற்ற நீண்ட ஒரு சங்கிலியர்கும்.

நீராற்பகுப்படையும் போது வெவ்வேறு வகையான மோனோ– சாக்கரைடு அலகுகளை விடுவிக்கும் பாலிசாக்கரைடுகள் மாற்று ரோபாலிசாக்கரைடுகள் எனப்படுகின்றன. இவை உயர்தாவரங்களில் அதிகம் காணப்படுவதில்லை. ஆனால், விலங்கினங்களிலும், பாக்டீரியங்களிலும் அதிகம் காணப்படுகின்றன.

பாக்டீரியங்களின் செல்சுவரில் காணப்படும் பெப்டிடோகிளைகான் (peptidoglycon) விலங்கினங்களில் காணப்படும் கிளைகோஸ்அமினோ கிளைகான் (glycosaminoglycon) ஆகியவை இதற்குச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

ஹையலுரோனிக் அமிலம் (hyaluronicacid), காண்ட்ரோமிடின் (Chontroitin), ஹெபாரின் (heparin) ஆகியவை, கிளைகோஸ்அமினோ கிளைகானில் வரும் மாற்று பாலிசாக்கரைடுகளாகும். இவற்றுள் ஹையலுரோனிக் அமிலம், மனித உடலில் மூட்டுக்குழித் திரவத்திலும், தாய்சேய் இணைப்புத் திசு, கண்ணில் உள்ள விட்ரியஸ் திரவம் ஆகியவற்றில் காணப்படுகிறது. காண்ட்ரோமிடின் அனைத்து விலங்கினங்களின் குருத்தெலும்புகளில் காணப்படும் மாற்று பாலிசாக்கரைடாகும். இரத்தம் உறைதலைத் தடுக்க உதவும் ஹெபாரின், நம் உடலில் மாஸ்ட் செல்கள் காணப்படும் பகுதிகளான, தமனிச்சுவர், கல்லீரல், நுரையீரல் ஆகியவற்றில் காணப்படுகிறது.

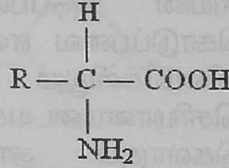
(இ) ஆற்றும் பணியின் அடிப்படையில் பாலிசாக்கரைடுகள் சேமிக்கப்படுபவை, உருக்கொடுப்பவை எனப் பாகுபடுத்தப்படுகின்றன. தாவரங்களிலும், விலங்கினங்களிலும் மோனோசாக்கரைடுகளைச் சேமித்துவைக்க உதவும், செரிமானமடையக் கூடிய பாலிசாக்கரைடுகள் சேமிப்புப் பாலிசாக்கரைடுகளாகும். தாவரங்களின் கிழங்குகளில், கனிகளில், விதைகளில் சேமிக்கப்படும் தரசம், ஆஸ்ட்ரேசி குடும்பத்தைச் சேர்ந்த *டேலியா* (*Dahlia*), ஆர்டிசோக் (*ஹிலியாந்தஸ் டியூபரோசஸ்*), டாண்டிலியான் (*டராக்சகம் அஃபிசினேல்*) போன்ற தாவரங்களின் கிழங்குகளில் மட்டும் சேமிக்கப்படும் இனுலின், விலங்கினங்களின் தசைகள், கல்லீரல் ஆகியவற்றில் சேமிக்கப்படும் கிளைகோஜென் ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

செரிமமடையாத, ஆனால் தாவரங்களுக்கும் விலங்கினங்களுக்கும் வலுவளிக்க உதவும் பாலிசாக்கரைடுகள் உருக்கொடுக்கும் பாலிசாக்கரைடுகளாகும். உயர் தாவரங்களின் செல்சுவரில் காணப்படும் செல்லுலோஸ், ஹெமிசெல்லுலோஸ், பெக்டின், பூஞ்சைகளின் செல்சுவர், கணுக்காலிகளான நண்டு, பூச்சிகள் ஆகியவற்றின் உடல் கவசம் ஆகியவற்றின் உள்ள கைட்டின், பழுப்புபாசிகளின் செல்சுவர் பொருளான அல்ஜினேட்டுகள், உயர்த்தாவர செல்களின் செல்சுவர் சிதைவால் உருவாகும் மியூசிலேஜ், கோந்து, பாக்டீரியங்களின் செல்சுவரில் காணப்படும் பெப்டிடோ கிளைகான், விலங்கினங்களின் பல்வேறு திசுக்களில் காணப்படும் கிளைகோஸ்அமினோகிளைகான் ஆகியவை உருக்கொடுக்கும் பாலிசாக்கரைடுகளுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

10. அமினோ அமிலங்கள்
(Amino acids)

10.1. பொதுப்பண்புகள்

நைட்ரஜன் சேர்மங்களாகிய இவை, புரதங்களைக்கட்ட உதவும் அடிப்படை அலகுகளாகும். ஒவ்வொரு அமினோ அமிலமும், அமிலத் தொகுப்பான கார்பாக்சில் (-C00H), காரத்தொகுப்பான அமினோ (-NH_2) தொகுப்பு ஆகியவற்றை பெற்றுள்ளது. அனைத்து அமினோ அமிலங்களும் கீழ்க்கண்ட பொதுவான அமைப்பு விதிமுறையைப் பெற்றுள்ளன.



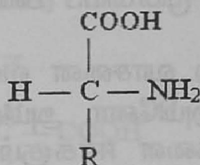
இதில் 'R' என்பது ஒவ்வொரு அமினோ அமிலத்துடனும் இணைந்திருக்கும் வெவ்வேறு வகையான பக்கச் சங்கிலியைக் குறிக்கிறது. இது ஹைட்ரஜன் அணுவை மட்டும் பெற்ற எளிய அமைப்பாகவோ, மெத்தில் தொகுப்பாகவோ அல்லது மிகச் சிக்கலான அமைப்பாகவோ இருக்கலாம்.

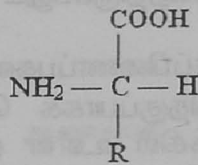
கார்பாக்சில் தொகுப்பில் உள்ள கார்பன் K-கார்பன் எனப்படுகிறது. கிளைசின் தவிர பிற அமினோ அமிலங்களில் இந்த K-கார்பனுடன் வேறுபட்ட தொகுப்புகள் சகப்பிணைப்பில் இணைந்திருக்கும் நிலை காணப்படுகிறது. எனவே, இவறறில் ஒளியியல் மாற்றியங்கள் தோன்றுகின்றன. NH_2 தொகுப்பை வலப்புறமாகப் பெற்ற அமினோ அமிலங்கள் D-வகைகள் என்றும் இடப்புறமாகப் பெற்றவை L-வகைகள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. மாற்றியங்களைப் பெற்ற அமினோ அமிலங்களில், திரியோனின், ஐசோலியூசின் தவிர மற்றவை ஒரே ஒரு சமச்சீரற்ற கார்பனை மட்டும் பெற்றிருப்பதால், இரு மாற்றியங்களை மட்டுமே உருவாக்குகின்றன ஆனால் திரியோனின், ஐசோலியுயூசின் ஆகியவற்றில் இரண்டு சமச்சீரற்ற கார்பன்கள் இருப்பதால் அவை நான்கு வகையான மாற்றியங்களை உருவாக்குகின்றன.

புரதத்தில் காணப்படும் அமினோ அமிலங்கள் யாவும் L-அமினோ அமிலங்களாக இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இயற்கையில் காணப்படும் பெரும்பாலான L-அமினோ அமிலங்கள் ஒரு தள ஒளிக்கதிரை இடப்புறமாக சுழற்றும் தன்மை கொண்டவை. எனவே லீவோ சுழற்சி

செய்யும் அமினோ அமிலங்களான இவை, L(-) என அவற்றின் பெயருக்கு முன் குறிப்பிடப்படுகின்றன. ஒரு சில L-அமினோ அமிலங்கள் ஒருதள ஒளிக்கதிரை வலப்புறமாகச் சுழற்றும் தன்மை பெற்றுள்ளன. டெக்ஸ்ட்ரோ சுழற்சி செய்யும் இவை L(+) என குறிப்பிடப்படுகின்றன (படம் –68).

படம் –68





D- அமினோ அமிலம் L- அமினோ அமிலம்

சில அமினோ அமிலங்கள் NH_2 என்ற அமினோத் தொகுப்பிற்குப் பதிலாக NH என்ற இமினோத் தொகுப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. இவை இமினோ அமிலங்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. புரோலைன் (Proline), ஹைட்ராக்ஸிபுரோலைன் (Hydroxyproline) ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

பொதுவாக உயிரினங்களில் இருபது அமினோ அமிலங்கள் இருப்பது தெரியவந்துள்ளது. ஒளிச்சேர்க்கை செய்து சுயவாழிகளாக உள்ள பசுந்தாவரங்கள் இவை அனைத்தையும் தாங்களே உற்பத்தி செய்து கொள்கின்றன. ஆனால், விலங்கினங்கள் (மனிதன் உட்பட) இவற்றில் பாதியை அவற்றின் உணவின் மூலமே பெருகின்றன. எனவே அவற்றின் உணவில் இவை கட்டாயம் இருக்கவேண்டும் என்பதால் இவை இன்றியமையா அமினோ அமிலங்கள் எனப்படுகின்றன. லைசின் (lysine), வாலைன் (valine), லியூசின் (leusin), ஐசோலியூசின் (isoleusin), ஃபினைல்ஆலனைன் (phenylalanine), ஹிஸ்டிடைன் (histidine), டிரிப்டோஃபேன் (tryptophan), மெத்தியோனின் (methionine), திரியோனின், (threonone) ஆர்ஜினைன் (arginine) ஆகிய பத்து இவைகளாகும். பிற பத்து அமினோ அமிலங்களான கிளைசின் (glysine), ஆலனைன் (alanine), சீரைன் (serine), புரோலைன் (proline), சிஸ்டின் (cysteine), டைரோசின் (tyrosine), ஆஸ்பார்டேட் (aspartate), குளுடமேட் (glutamate), அஸ்பார்ஜைன் (aspargine), குளுடமைன் (glutamine) ஆகியவற்றை விலங்கினங்கள் தங்களது உடலிலேயே உற்பத்தி செய்து கொள்கின்றன. புரதத்தின் அமைப்பிற்கு இன்றியமையாதவை என்றாலும், உணவில் இருக்கவேண்டிய அவசியமின்மையால் இவை இன்றியமையாத் தன்மையற்ற அமினோ அமிலங்கள் எனப்படுகின்றன.

இயற்பியல் பண்பில் அமினோ அமிலங்கள் நிறமற்ற படிகங்களாக உள்ளன. இப்படிகங்கள் ஊசிவடிவிலோ (எ.கா—டைரோசின்) அல்லது அறுகோணவடிவிலோ (எ.கா—சிஸ்டின்) உள்ளன. இவை இனிப்புச் சுவை அற்றவையாகவோ (எ.கா—டைரோசின்), இனிப்புச்சுவை கெண்டவையாகவோ (எ.கா—கிளைசின்) அல்லது கசப்புச்சுவை கொண்டவையாகவோ (எ.கா—ஆர்ஜினைன்) உள்ளன. உயர்வான உருகு நிலைப்புள்ளியைப் பெற்றிருப்பதும் இவற்றின் முக்கியப் பண்பாகும்.

இரட்டைக் சகப்பிணைப்புகளைப் பெற்ற வாசனை வளையத்தைத் (aromatic ring) R-தெகுப்பாகக் கொண்ட அமினோ அமிலங்கள், புற ஊதாக் கதிர் இலக்கில் உள்ள ஒளிக்கதிர்களை ஈர்க்கும் தகுதியைப் பெற்றுள்ளன. டைரோசின், டிரிப்டோஃபேன், ஃபினைல் ஆலனைன் ஆகியவை இதற்குப் எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

10.2. அமினோ அமிலங்களின் வகைப்பாடு

காணப்படும் கார்பாக்சில் தொகுப்புகள், அமினோ தொகுப்புகள் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கையின் அடிப்படையில் அமினோ அமிலங்கள் நடுநிலை (neutral), அமிலத்தன்மை பெற்ற (acidic), காரத்தன்மை பெற்ற (basic) அமினோ அமிலங்கள் என வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

காணப்படும் பக்கச்சங்கிலியின் (R—தொகுப்பு) தன்மையின் அடிப்படையில் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்படுகின்றன:

1. அலிஃபாடிக் அமினோ அமிலங்கள், (aliphatic amino acids)
2. ஹைட்ராக்ஸி அமினோ அமிலங்கள், (hydroxy amino acids)
3. அரோமாட்டிக் அமினோ அமிலங்கள், (aromatic amino acids)
4. சல்ஃபர் பெற்ற அமினோ அமிலங்கள், (sulphur containing amino acids)
5. ஹெட்டிரோசைக்ளிக் அமினோ அமிலங்கள். (heterocyclic amino acids)

மேற்கூறப்பட்ட இரண்டையும் ஒருங்கிணைத்துத் தரப்பட்டுள்ள வகைப்பாடு பின்வருமாறு:

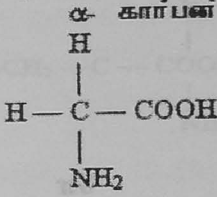
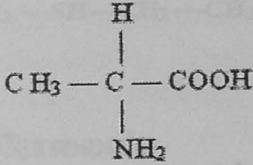
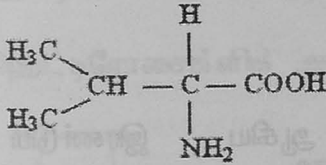
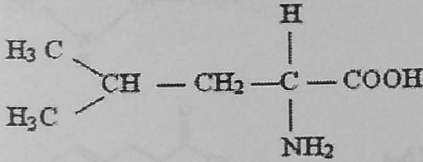
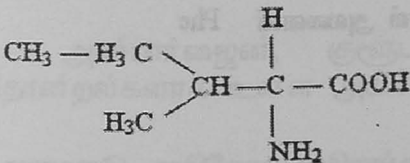
10.2.1. நடுநிலைத் தன்மை பெற்றவை

ஒரே ஒரு அமினோத்தொகுப்பையும், கார்பாக்சில் தொகுப்பையும் பெற்ற மோனோ அமைனோ மோனோகார்பாக்சிலிக் அமினோ அமிலங்கள் இவ்வகையினதாக உள்ளன.

கிளைசின், ஆலனைன், வாலைன், லியூசின், ஐசோலியூசின் ஆகியவை இதில் வரும் அலிஃபாட்டிக் அமினோ அமிலங்களாகும் (படம்—69).

படம்–69

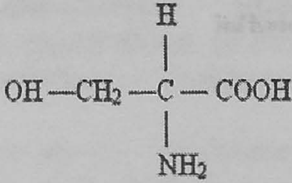
அலிஃபாடிக் அமினோ அமிலங்கள்

α- கார்பன்	பெயர்	சுருக்கக்கு
	கிளைசின்	Gly
	ஆலனைன்	Ala
	வாலைன்	Val
	லியூசின்	Leu
	ஐசோலியூசின்	Ile

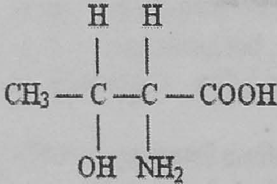
சீரைன், திரியோனைன் ஆகியவை ஹைட்ராக்சி அமினோ அமிலங்களாகும் (படம்–70).

படம்–70

ஹைட்ராக்சி அமினோ அமிலங்கள்



சீரைன் Ser

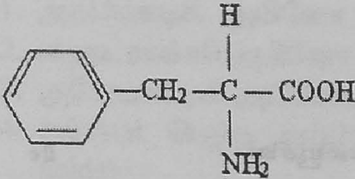


திரியோனின் Thr

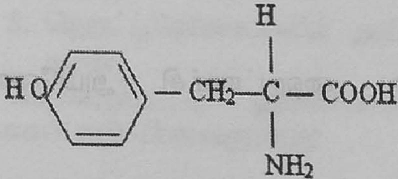
ஃபினைல் ஆலனைன், டைரோசின் ஆகிய இரண்டும் அரோமாட்டிக் அமினோ அமிலங்களாகும் (படம்–71).

படம்–71

அரோமாட்டிக் அமினோ அமிலங்கள்



ஃபினைல் அலனைன் Phe

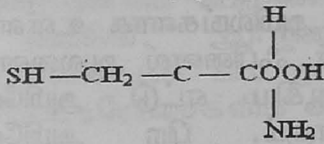


டைரோசின் Tyr

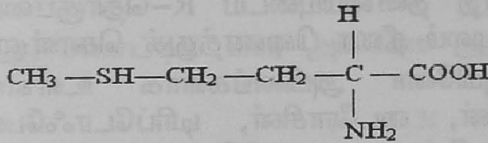
சிஸ்டீன், மெத்தியோனைன் ஆகிய இரண்டும் சல்ஃபர் பெற்ற அமினோ அமிலங்களாகும் (படம்–72).

படம்–72

சல்ஃபர் பெற்ற அமினோ அமிலங்கள்



சிஸ்டின் Cys

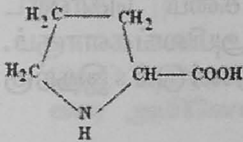


மெத்தியோனைன் Met

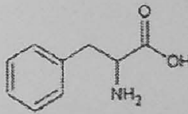
புரோலைன், டிரிப்டோஃபேன் ஆகிய இரண்டும் ஹெட்டிரோசைக்னிக் அமினோ அமிலங்களாகும் (படம்–73).

படம்–73

ஹெட்டிரோசைக்ளிக் அமினோ அமிலங்கள்



புரோலைன் Pro

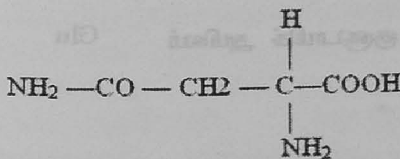


டிரிப்டோஃபேன் Trp

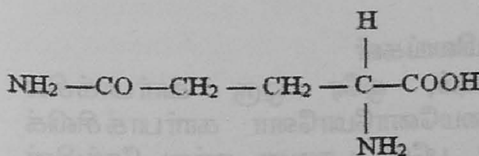
அஸ்பார்ஜைன், குளூடாமைன் ஆகிய இரண்டும் அமைடு தோன்றல்களாக உள்ள அமினோ அமிலங்களாகும் (படம்–74).

படம்-74

அமைடு அமினோ அமிலங்கள்



அஸ்பார்ஜினைன் Asn



குளூடாமைன் Glu

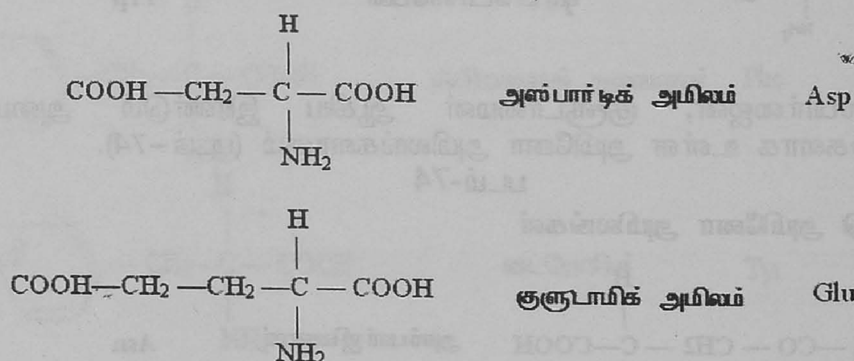
இங்கு கூறப்பட்டுள்ள 15 அமினோ அமிலங்களில் ஒரு சில, முனைமைத் தன்மையற்ற R–தொகுப்பைப் பெற்று நீரைப் பிணைத்துக் கொள்ள இயலாத, நீர் வெறுக்கும் அமினோ அமிலங்களாக உள்ளன. ஆலனைன், வாலைன், லியூசின், ஐசோலியூசின், ஃபினைல் ஆலனைன், சிஸ்டீன், மெத்தியோனின், புரோலைன் ஆகிய எட்டு அமினோ அமிலங்கள் இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். பிற அமினோ அமிலங்கள், மின்சுமையற்ற முனைத் தன்மையுடைய R–தொகுப்பைப் பெற்ற, ஹைட்ரஜன் பிணைப்பின் மூலம் நீரை பிணைத்துக் கொள்ளும் நீர் விரும்பும் (hydrophilic) அமினோ அமிலங்களாக உள்ளன. கிளைசின், சீரைன், திரியோனைன், டைரோசின், டிரிப்டோஃபேன், அஸ்பார்ஜைன், குளூடாமைன் அகிய ஏழு அமினோ அமிலங்கள் இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

10.2.2. அமிலத்தன்மை பெற்ற அமினோ அமிலங்கள்

இரு கார்பாக்சில் தொகுப்புகளையும், ஒரே ஓர் அமினோ தொகுப்பையும் பெற்ற இவை மோனோ அமைனோ டைகார்பாக்சிலிக் அமினோ அமிலங்கள் எனப்படுகின்றன. எதிர் மின்சுமை கொண்ட முனைமை பெற்ற இவை நீர் விரும்பும் அமினோ அமிலங்களாகும். அஸ்பார்டிக் அமிலம், குளூடாமிக் அமிலம் ஆகிய இரண்டும் இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும் (படம்–75).

படம்–75

அமில அமினோ அமிலங்கள்



10.2.3 காரத் தன்மை பெற்ற அமினோ அமிலங்கள்

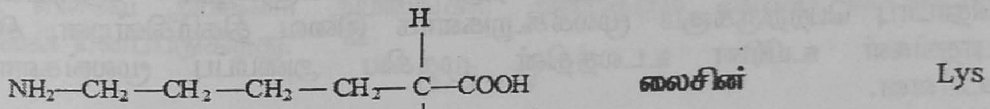
இரு அமினோத் தொகுப்புகளையும், ஒரே ஒரு கார்பாக்சில் தொகுப்பையும் பெற்ற இவை டைஅமைனோமோனோ கார்பாக்சிலிக் அமினோ அமிலங்கள் எனப்படுகின்றன. புரோட்டானை ஏற்று நேர்மின்

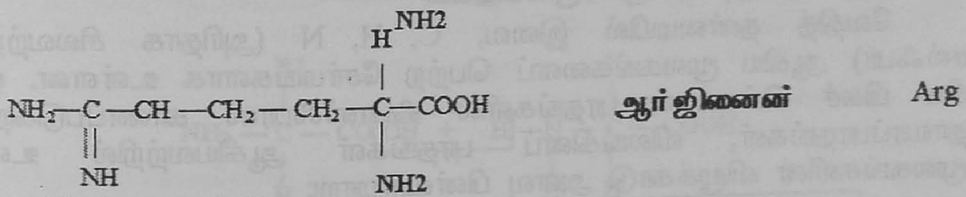
சுமை பெரும் தகுதி இவற்றின் R–தொகுப்பிற்கு இருப்பதால் இவை காரத்தன்மை பெறுகின்றன.

லைசின், ஆர்ஜினைன் ஆகிய இரண்டும் இதில் வரும் அலிஃபாட்டிக் கார அமிலங்களாகும். இதில் வரும் ஹிஸ்டிடைன் ஒரு ஹெட்டிரோசைக்ளிக் கார அமிலமாகும் (படம்–76).

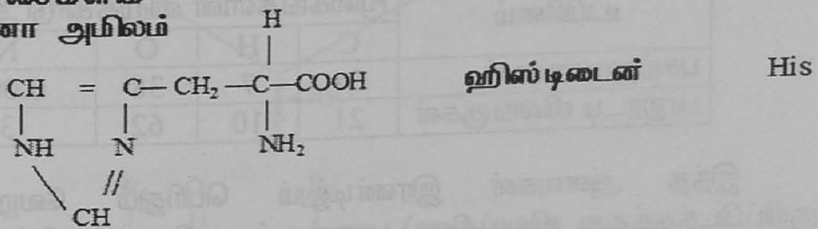
படம்–76

அலிஃபாட்டிக் கார அமினோ அமிலங்கள்





ஹெட்டிரோசைக்ளிக் கார அமினோ அமிலம்



11. புரதங்கள் (Proteins)

உயிரின செல்களில் மிக அதிக அளவில் காணப்படக்கூடிய பெருமூலக்கூறுகள் புரதங்களாகும். பெரும்பாலான உயிரினங்களில் அதன் உலர் எடையில் பாதிக்கு மேற்பட்ட அளவில் புரதங்கள் காணப்படுகின்றன.

செல்களின் உயிர்த்தன்மைக்குக் காரணமாக உள்ள வேதிய, இயற்பிய செயல்களின் அனைத்து நிலைகளுடனும் நெருங்கிய தொடர்பு பெற்றிருக்கும் மூலக்கூறுகளாக இவை திகழ்கின்றன. சில புரதங்கள் உயிரின உடலத்தின் முக்கிய அமைப்பு மூலங்களாக உள்ளன.

11.1. புரதத்தை அமைக்கும் மூலகங்கள்

வேதித் தன்மையில் இவை, C, H, N (அரிதாக சிலவற்றில் சல்ஃபர்) ஆகிய மூலகங்களைப் பெற்ற சேர்மங்களாக உள்ளன. ஒரு சில மிகச் சிக்கலான புரதங்களில் ஃபாஸ்ஃபரஸ் காணப்படுகிறது. தாவரப்புரதங்கள், விலங்கினப் புரதங்கள் ஆகியவற்றில் உள்ள மூலகங்களின் விழுக்காடு அளவு பின்வருமாறு:

உயிரினம்	மூலகங்களின் விழுக்காடு அளவு			
	C	H	O	N
பசுந்தாவரங்கள்	54	7	38	0.003
பாலூட்டி விலங்குகள்	21	10	62	3

இந்த அளவுகள் இரண்டிலும் பெரிதும் வேறுப்பட்டிருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. விலங்கினப் புரதங்கள் அதிக அளவில் நைட்ரஜனை, பெற்றிருப்பதுடன், 0.5 to 2 விழுக்காடு சல்ஃபர் கொண்டிருப்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது.

11.2. புரதங்களின் உயிர்வேதியப் பண்புகள்

சங்கிலி போன்ற மூலக்கூறுகளாகத் திகழும் இவை, வேதி இயல்பில் பாலிமெர்கள் எனப்படும் பன்மயச் சேர்மங்களாக உள்ளன. ஒவ்வொரு சங்கிலியும் அமினோ அமிலங்கள் என்ற பல சிறிய அலகுகள் இணைந்து உருவாகிறது. எனவே, புரதங்களின் கட்டமைப்பிற்கு உதவும் இவ்வலகுகள், மோனோமெர்கள் எனப்படுகின்றன. காணப்படும் அமினோ அமிலங்களின் வகைகளைப் பொறுத்துப் புரதங்கள் பெரிதும் வேறுபடுகின்றன. ஒரே உயிரினத்தில் வெவ்வேறு வகைப் புரதங்கள், குறிப்பிட்ட அமினோ அமிலங்களை வெவ்வேறு எண்ணிக்கையில் பெற்றிருப்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது. சில அமினோ அமிலங்கள் ஒரு சில புரதங்களில் மிக அதிக எண்ணிக்கையில் காணப்படலாம். வேறு சிலவற்றில் இவற்றின் எண்ணிக்கை மிகக் குறைந்து அல்லது முற்றிலும் இல்லாத நிலை

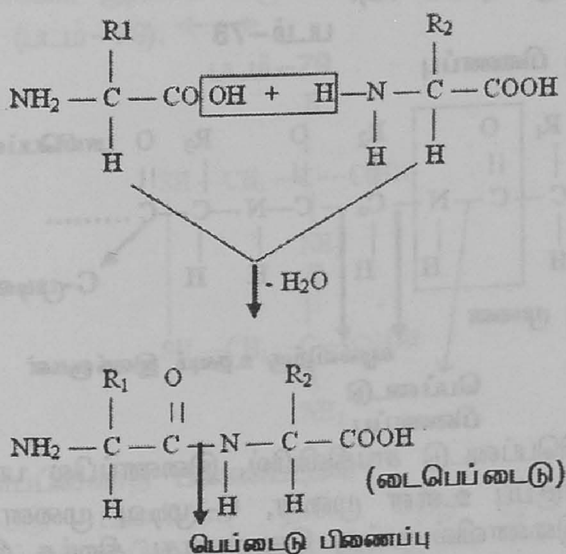
புரதங்களில் இருப்பதில்லை. இருப்பினும், பெரும்பாலான புரதங்கள் அனைத்து 20 அமினோ அமிலங்களையும் பெற்றிருக்கின்றன. ஆனால் அவற்றின் எண்ணிக்கை, தொகுக்கப்பட்டிருக்கும் முறை புரதத்திற்குப் புரதம் பெரிதும் வேறுபடுகின்றன. எனவே, உருவாகக்கூடிய புரதங்களின் வகைகள் கணக்கற்றவைகளாகத் திகழ்கின்றன.

11.3. பெப்டைடு இணைவு

புரத மூலக்கூறை அமைக்கும் அமினோ அமிலச் சங்கிலியில், அமினோ அமிலங்கள் அமைடு பிணைப்பின் மூலம் இணைந்துள்ளன. இப்பிணைப்புகளுக்குப் பெப்டைடு பிணைப்புகள் என்று பெயர். (படம்–77). எனவே அமினோ அமிலங்கள் அமைக்கும் சங்கிலி பெப்டைடு சங்கிலி எனப்படுகிறது.

படம்–77

பெப்டைடு இணைவு



ஒவ்வொரு பெப்டைடு சங்கிலியும் குறிப்பிட்ட நீளத்தைப் பெற்றிருப்பதுடன் 50 முதல் பல மில்லியன் அமினோ அமில அலகுகளைக் கொண்டுள்ளது. சங்கிலியை அமைக்கும் அமினோ அமிலங்களின் எண்ணிக்கையின் அடிப்படையில் பெப்டைடுகள், பெயரிடப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக டைபெப்டைடுகள் (இரு அமிலங்களால் ஆனவை) டிரைபெப்டைடுகள் (மூன்று அமிலங்களால் ஆனவை). பத்து அமினோ அமிலங்களுக்கு மிகாத எண்ணிக்கையைப் பெற்ற சங்கிலிகள் ஒலிகோ பெப்டைடுகள் என்றும், பத்திற்கு மேற்பட்ட எண்ணிக்கையினாலான சங்கிலிகள் பாலிபெப்டைடுகள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. உண்மையில் புரதங்கள் யாவும் நூற்றுக்கும் மேற்ட்ட அமினோ அமிலங்களால் ஆன பாலிபெப்டைடுகளாகவே

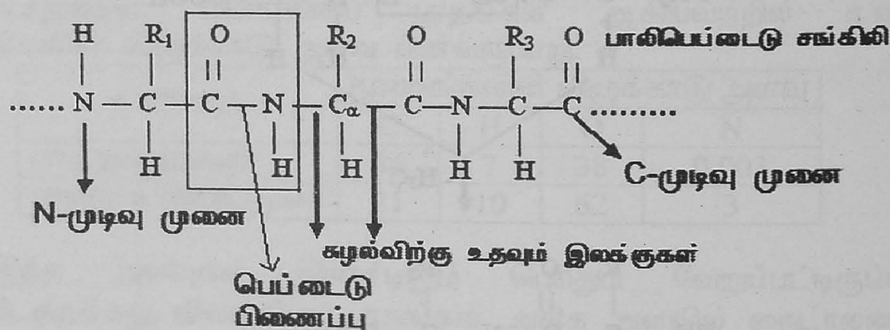
உள்ளன. ஒலிகோபெப்டைடுகள் அனைத்தும், புரதங்களின் சிதைவால் இறுதியில் தோன்றும் பெப்டைடுகளாகும்.

ஒரு அமினோ அமிலத்தின் அமினோ தொகுப்பும் ($-NH_2$), மற்றொரு அமிலத்தின் கார்பாக்சில் தொகுப்பும் இணையும் விதத்தில் நிகழும் பிணைப்புப் பெப்டைடு பிணைப்பு எனப்படுகிறது. இப்பிணைப்பின் போது ஒரு மூலக்கூறு நீர் வெளியேற்றப்படுகிறது.

ஒரு பாலிபெப்டைடு சங்கிலியில் இரு பெப்டைடு பிணைப்பு அலகுகளுக்கு இடையே உள்ள கார்பன் K–கார்பன் எனப்படுகிறது. இந்தக் கார்பனின் இருபுறமும் உள்ள N-CK, CK-C பிணை இலக்குகள் சங்கிலியைச் சுழலச் செய்ய உதவும் இலக்குகளாகும். பெப்டைடு பிணைப்பு அலகுகளில் இரட்டைச் சகப்பிணைப்புகள் இருப்பதால், அங்கு எந்த விதச் சுழல்வும் நிகழமுடிவதில்லை. எனவே, இவை திடமான பிணைப்புகள் எனப்படுகின்றன. பெப்டைடு பிணைப்பு ஒரு சகப்பிணைப்பாகும் (படம்–78).

படம்–78

பெப்டைடு பிணைப்பு



ஒரு பாலிபெப்டைடு சங்கிலியில், இணைப்பில் பங்கு கொள்ளாத – COOH தொகுப்பு உள்ள முனை, C–முடிவு முனை எனப்படுகிறது. இதே போல் இணைவில் பங்கு கொள்ளாது, திறந்த நிலையில் உள்ள – NH_2 தொகுப்பைப் பெற்ற மற்றொரு முனை, N–முடிவு முனை எனப்படுகிறது.

ஒரு பாலிபெப்டைடிற்குப் பெயரிடும் போது, N-முனையில் உள்ள அமினோ அமிலத்தின் பெயரை முதலில் எழுதியும், C–முனையில் உள்ள அமினோ அமிலத்தின் பெயரை இறுதியில் எழுதியும், இடைப்பட்ட அமினோ அமிலங்களின் பெயர்களை அவற்றின் வரிசையிலேயே எழுதியும் பெயரிடப்படுகிறது. அவ்வாறு எழுதும் போது இறுதி அமினோ அமிலம் தவிர பிற அமிலங்கள் அவற்றின் பெயரோடு 'இல்' (yl) என்ற பின் அசைச்செல் சேர்க்கப்பட்டு எழுதப்படுதல் வேண்டும். இறுதி அமினோஅமிலம் அப்படியே எழுதப்படுதல் வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக கிளைசின், அலனைன், லியூசின், சீரைன் என நான்கு அமினோ அமிலங்களை வரிசையாகப் பெற்ற

டெட்ராபெப்டைடு கிளைசில் – L – ஆலனில் – L – லியூசில் – L – சீரைன் என எழுதப்படுதல் வேண்டும்.

11.4. புரதத்தின முப்பருமான உரு அமைப்பு (Protein configuration)

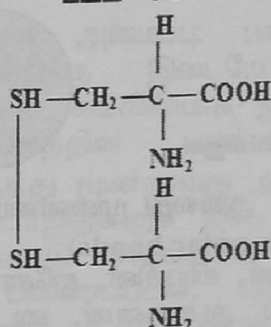
11.4.1. அமைப்பிற்கு உதவும் பிணைப்புகள்

புரதத்தின் முப்பருமான உரு அமைப்பிற்கு முதல்நிலை பிணைப்பு எனப்படும் பெப்டைடு பிணைப்புகள் தவிர, வேறு சில இரண்டாம் நிலை பிணைப்புகளும் உதவுகின்றன. அவ்வகைப் பிணைப்புகள் பின்வருமாறு:

(i) டைசல்ஃபைடு பிணைப்பு

இரண்டு சிஸ்டீன் அமினோ அமிலங்களின் 'தயால்' தொகுப்புகள் ஆக்சிஜன் ஏற்றச் செயல் மூலம் இணைந்து உருவாகும் சகப்பிணைப்பிற்கு டைசல்ஃபைடு பிணைப்பு என்று பெயர். இதனால் டைசல்ஃபைடு இணைப்புப் பாலம் பெற்ற சிஸ்டைன் (Cystine) என்ற இணைக்கும் அமினோ அமிலம் உருவாகிறது. $2R-SH+Y_2O2$ R $-S-S-R+H_2O$ (படம் – 79). ⟷

படம் – 79



(ii) சகப்பிணைப்பில்லாத பிணைப்புகள்

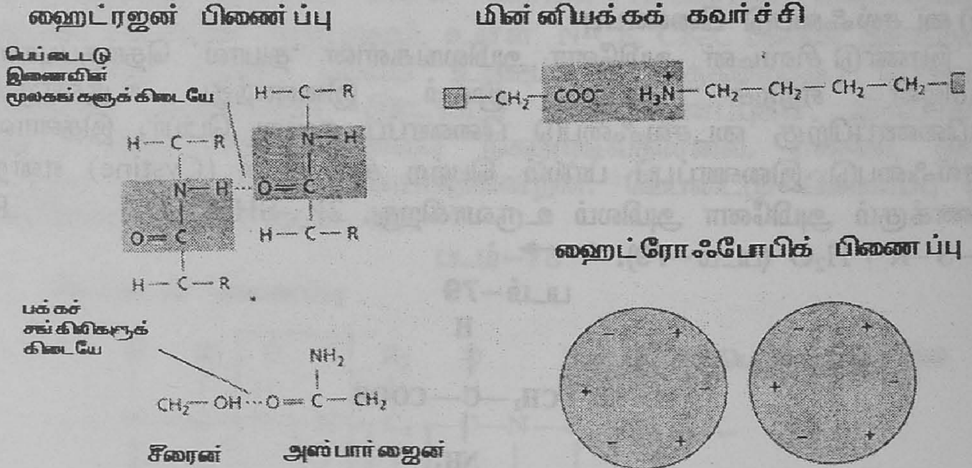
டைசல்ஃபைடு பிணைப்பு தவிர மற்ற இரண்டாம் நிலை பிணைப்புகள் இவ்வகை பிணைப்புகளாகும். இவை பின்வருமாறு:

(a) ஹைட்ரஜன் பிணைப்பு: எதிர் மின் சுமை பெற்ற அணுக்களுக்கு இடையே, ஹைட்ரஜனைக் கொண்டு ஏற்படும் ஈர்ப்புச் செயல் விளைவால் உருவாகும் நலிந்த பிணைப்பு ஹைட்ரஜன் பிணைப்பு எனப்படுகிறது. இரு பெப்டைடு பிணைப்புகளுக்கிடையே ஏற்படும் இவ்வகை ஹைட்ரஜன் பிணைப்புகள் புரதத்தின் உரு அமைப்பிற்கு உதவும் முக்கிய பிணைப்புகளாகும்.

(b) அயனிப்பிணைப்பு: புரததின் பகுதிக்கூறுகளாக விளங்கும் அமினோ அமிலங்களின், அமில, காரத் தொகுப்புகளுக்கிடையே ஏற்படும் செயல்விளைவால் உருவாகும் பிணைப்பு அயனிப்பிணைப்பாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட வாழ்வியல் சார் pH இலக்கில், குளூடாமிக் அமிலம், அஸ்பார்டிக் அமிலம் ஆகியவற்றில் எதிர்மின் சுமை பெற்ற R-தொகுப்புகளும், கார அமினோ அமிலங்களான

ஆர்ஜினைன், ஹிஸ்டிடைன், லைசின் ஆகியவற்றில் நேர்மின் சுமை பெற்ற R-தொகுப்புகளும் தோன்றுகின்றன. இவ்வகை அமினோ அமிலங்கள், பாலிபெப்டைடு சங்கிலியில், நேர், எதிர் மின்சுமை பெற்ற பக்கச்சங்கிலிகளை ஏற்படுத்துகின்றன. இவ்வகைப் பக்கச் சங்கிலிகள் அருகமையும் போது, நிகழும் மின்னியக்கக் கவர்ச்சியால் உருவாகும் பிணைப்பு அயனிப்பிணைப்பாகும் (படம்–80).

படம்–80



(c) ஹைட்ரோஃபோபிக் அல்லது முனைமையற்ற பிணைப்புகள்: (Hydrophobic or non-polar bonds)

ஆலனைன், வாலைன், லியூசின், ஐசோலியூசின், மெத்தியோனின், டிரிப்டோஃபேன், ஃபினைல் ஆலனைன், டைரோசின் ஆகிய அமினோ அமிலங்கள், நீர் வெறுக்கும் தன்மையுடைய R–தொகுப்புகளைப் பெற்றுள்ளன. எனவே, இவை நீர் மூலக்கூறுகளால் ஈர்க்கப படுவதில்லை. நீரை இவ்வாறு வெறுப்பதன் காரணமாக, இந்த R-தொகுப்புகள் தங்களுக்குள்ளாகப் பிணையுற்று, ஒரே பாலிபெப்டைடு சங்கிலியின் வெவ்வேறு பகுதிகளுக்கிடையே இணைவை ஏற்படுத்துகின்றன. இவ்வாறு ஏற்படும் பிணைப்புகள் ஹைட்ரோஃபோபிக் பிணைப்புகள் எனப்படுகின்றன.

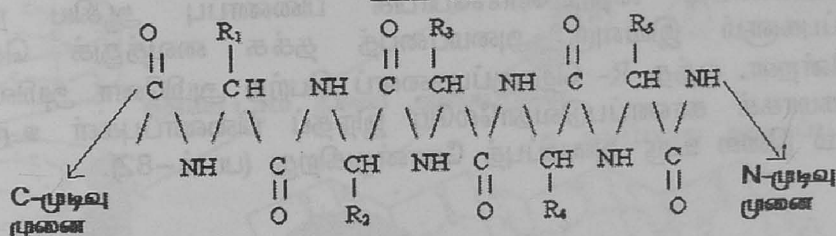
11.5. முப்பருமாண உரு அமைப்பில் வகைகள்

புரத மூலக்கூறுகள் மிகப் பெரியவையாகும், எனவே இரண்டாம் நிலைப் பிணைப்புகளால் உருவாகும் முப்பருமான உரு அமைப்புகள் முக்கியத்துவம் பெறுகின்றன. புரதங்களின் பண்புகளைத் தெரிந்து கொள்ள, மிக நிலையான இம்முப்பருமான அமைப்புகளைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்ளுதல் மிகவும் தேவையமாகும். பெரும்பாலான புரதங்கள், முதல் நிலை, இரண்டாம் நிலை, மூன்றாம் நிலை என மூன்று நிலைகளினால் ஆன அமைப்புகளை வெளிப்படுத்துகின்றன.

சில நேரங்களில், இரு புரத மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஏற்படும் செயல் விளைவால், நான்காம் நிலை அமைப்பு என்ற ஓர் அமைப்பும் தோன்றுகிறது.

(i) முதல் நிலை அமைப்பு: பாலிபெப்டைடு சங்கிலியை அமைக்கும் அமினோ அமிலங்களின் நீள் வரிசை அமைவை வெளிப்படுத்தும் அமைப்பு இதுவாகும். பெப்டைடு இணைப்புகளைத் தவிர வேறு எந்த இரண்டாம் நிலை பிணைப்புகளும் காணப்படுவதில்லை. எனவே இதில் மடிப்புகள், சுருள்கள் எதுவும் உண்டாவதில்லை (படம்–81).

படம்-81



(ii) இரண்டாம் நிலை அமைப்பு: பாலிபெப்டைடு சங்கிலியின் வெவ்வேறு தொகுப்புகளுக்கு இடையே மூலக்கூறு விசைகள் உருவாவதால், அது நேரான சங்கிலியாக இருப்பதற்கு வாய்ப்பில்லை. ஒரு அமினோ அமிலத்தின் கார்பாக்சில் தொகுப்பிலுள்ள ஆக்சிஜனுக்கும், அதிலிருந்து மூன்றாவது அமினோ அமிலத்தின் $-NH_2$ தொகுப்பில் உள்ள ஹைட்ரஜனுக்கும் இடையே ஏற்படும் ஹைட்ரஜன் பிணைப்புகள், பாலிபெப்டைடு சங்கிலியில் வளைவுப் திருப்பங்கள் ஏற்படும் ஹைட்ரஜன் பிணைப்புகள், பாலிபெப்டைடு சங்கிலியில் வளைவுப் திருப்பங்கள் ஏற்பட உதவுகின்றன. இதனால் திருகுச் சுருள் போன்ற அமைப்பு உருவாகிறது. இதற்கு K–திருகுச் சுருள் அமைப்பு என்று பெயர். இந்தத் திருகுச்சுருள், வலம்புரி அல்லது இடம்புரி வகையினதாக இருக்கலாம்.

புரோலைன், ஹைட்ராக்சி புரோலைன் ஆகியவற்றை அதிகம் பெற்ற பெப்டைடு சங்கிலிகள் K–திருகுச் சுருள் அமைப்பை ஏற்படுத்துவதில்லை.

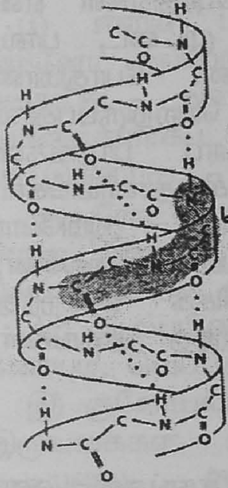
சிஸ்டீன் அமினோ அமிலங்களை அதிகம் பெற்ற பாலிபெப்டைடு சங்கிலியில், இரு சிஸ்டீன்கள் டை–சல்ஃபைடு பிணைப்பின் மூலம் இணையும் போது மடிப்புகள் தோன்றுகின்றன. இவ்வகையான பிணைப்புகள் ஒரே சங்கிலியில் காணப்படுவதோடு, இரு சங்கிலிகளுக்கிடையேயும், அவற்றை இணைக்கும் விதத்தில் ஏற்படுகின்றன. இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட பெப்டைடு சங்கிலிகள் ஹைட்ரஜன் பிணைப்புகளால் பக்கவாட்டில் இணைக்கப்படும் போது 2-மடிப்புற்ற (2–pleated) உரு அமைப்புத் தோன்றுகிறது. இந்த உரு அமைப்பில் பங்கு கொள்ளும் சங்கிலிகள்

நேர்–இணைப் போக்கிலோ அல்லது எதிர்–இணைப் போக்கிலோ (antiparallel) அமைந்திருக்கலாம்.

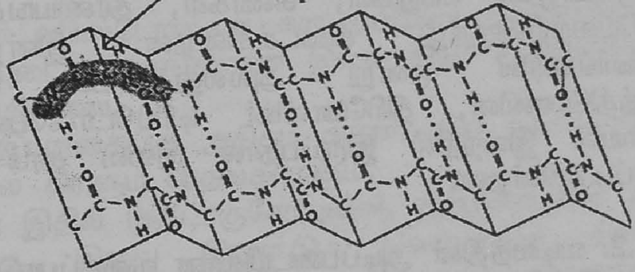
(iii) மூன்றாம் நிலை அமைப்பு: பாலிபெப்டைடின் இறுதி முப்பருமான அமைப்பை இது ஏற்படுத்துகிறது. கோளப்புரதங்களில் இது காணப்படுகிறது. முறுக்குற்ற அல்லது முறுக்கற்ற மிகப்பெரிய பாலிபெப்டைடு சங்கிலி ஒன்று திருகிச் சுருள்வதுடன் பல்வேறு விதமாக மடிப்புறும் போது மூன்றாம் நிலை உருஅமைப்புத் தோன்றுகிறது. டை–சல்ஃபைடு பிணைப்பு, ஹைட்ரஜன் பிணைப்பு, அயனிப்பிணைப்பு, ஹைட்ரோஃபோபிக் பிணைப்பு ஆகிய நான்கு பிணைப்புகளும் இவ்வுரு அமைப்பைத் தக்க வைத்துக் கொள்ள உதவுகின்றன. ஒத்த R- தொகுப்புகளைப் பெற்ற அமினோ அமிலங்கள் நெருக்கமாகக் காணப்படுவதாலேயே இந்தப் பிணைப்புகள் உருவாகி மூன்றாம் நிலை உரு அமைப்புத் தோன்றுகிறது (படம்–82).

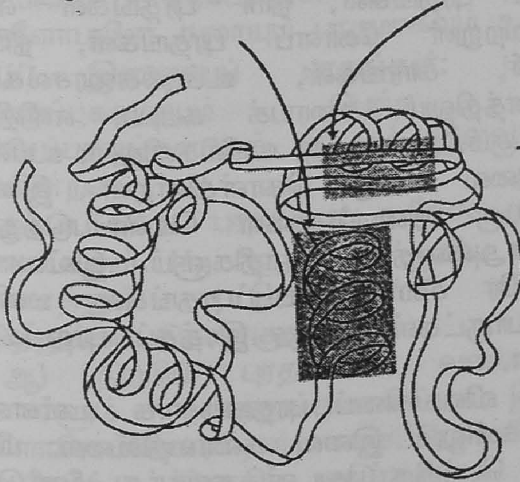
படம்–82

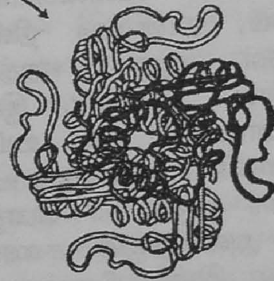
முதல் நிலை அமைப்பு



இரண்டாம் நிலை அமைப்புகள்







(iv) நான்காம் நிலை அமைப்பு:
முப்பருமான அமைப்பைப் பெற்ற இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட பாலிபெப்டைடுகளுக்கிடையே ஏற்படும் செல்விளைவுகளால் உருவாகும் உரு அமைப்பு இதுவாகும். இந்த முறையில் சேர்க்கையுற்ற

பாலிபெப்டைடுகள் துணை அலகுகள் எனப்படுகின்றன. இந்த உரு அமைப்பிற்காகப் பல்வேறு பாலிபெப்டைடுகளை இணைக்க, முப்பருமான அமைப்பிற்கு உதவிய இணைப்பு விசைகள் அனைத்தும் உதவுகின்றன. இந்த அமைப்பும், கோளப்புரதங்கள் சிலவற்றில் காணப்படுகிறது. ஹீமோகுளோபின் இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும்.

11.6. புரதங்களின் வகைப்பாடு

11.7.1 கிடைக்கும் விதத்தின் அடிப்படையிலான வகைப்பாடு

இதனடிப்படையில் விலங்கினப்புரதங்கள், தாவரப்புரதங்கள் என வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. விலங்கினப் புரதங்கள் முட்டை, பால், இறைச்சி, மீன் ஆகியவற்றிலிருந்து கிடைக்கின்றன. போதுமான அளவில் இன்றியமையா அமினோ அமிலங்களைப் பெற்றிருப்பதால் இவை உயர்தரப்புரதங்கள் எனப்படுகின்றன. தாவரப் புரதங்கள் பெரும்பாலும், பயறுகள், கீரைகள், தானியங்கள், சிறுதானியங்கள் ஆகியவற்றிலிருந்து கிடைக்கின்றன. இன்றியமையா அமினோ அமிலங்களில் ஒன்று அல்லது பல (குறிப்பாக லைசின், மெத்தியோனின், திரியோனின் டிரிப்டோஃபேன்) மிகக் குறைந்த அளவில் இவற்றில் இருப்பதால் இவை தரம் குறைந்த புரதங்கள் எனப்படுகின்றன.

11.7.2. வடிவத்தின் அடிப்படையிலான வகைப்பாடு

இதனடிப்படையில் கோளப் புரதங்கள், நார் புரதங்கள் என வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. இவற்றுள் கோளப் புரதங்கள், நீரில் அல்லது நீர்த்த அமிலங்கள், காரங்கள், உப்புக்கரைசல்கள், ஆல்கஹால்கள் ஆகிய அனைத்திலும் கரையக் கூடிய, எளிதில் பரவுதலடையக் கூடிய புரதங்களாகும். அனைத்து உயிரிகளிலும், உயிர்ச் செயலுக்கான வினைகளில் இவை பங்கு கொள்கின்றன. இவை மூன்றாம், நான்காம் நிலை உரு அமைப்புகளை வெளிப்படுத்தும் புரதங்கள் ஆகும். ஏறத்தாழ அனைத்து நொதிகளும் இவ்வகை புரதத்தால் ஆனவை. இவைதவிர சில சேமிப்புப்புரதங்கள், மனித ஹார்மோன்கள், எதிர் உயிர் பொருட்கள், மனித இரத்தப் புரதங்கள் இவ்வகைப் புரதங்களாக உள்ளன.

நார் புரதங்கள் பொதுவாக விலங்கினப் புரதங்களாக உள்ளன. இவை அனைத்துக் கரைப்பான்களிலும் இவை கரைவதில்லை. மிக வலுவான இவை நீளும் தன்மை பெற்றிருப்பதுடன், தளர்ந்து மீண்டும் இயல்பான நீளத்திற்குத் திரும்பும் பண்பும் படைத்தவை. உருக் கொடுத்தல், பாதுகாத்தல் போன்ற பணிகளை இவை செய்கின்றன. கொல்லா ஜென்கள் (collagens), இலாஸ்டின்கள் (elastins) கெராடின்கள் (keratins), ஃபைபரின்கள் (fibrins) ஆகியவை இவற்றிற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இவற்றுள் கொல்லாஜென், விலங்கின உடலின் மொத்தப் புரதத்தில் ஐம்பது விழுக்காட்டை அமைக்கிறது.

இலாஸ்டின்கள் மஞ்சள் இணைப்புத்திசுவின் முதன்மை புரதங்களாகும். கெராடின்கள் விலங்கினங்களின் எக்டோ டெர்மல் புரதங்களாகும். ஃபைபரின்கள் பட்டுப் புரதங்களாகும்.

11.7.3 பகுதிக்கூறுகளின் அடிப்படையில் அமைந்த வகைப்பாடு

காணப்படும் பகுதிக்கூறுகளின் அடிப்படையில் புரதங்கள், எளிய புரதங்கள், இணைவுப் புரதங்கள், வருவிய புரதங்கள் என வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

(i) எளிய புரதங்கள்: கோளப்புரதங்களாக விளங்கும் இவை, அமினோ அமிலங்களால் மட்டுமே ஆனவை. அமிலக் கரைசல்களில் சிதைந்து, அவற்றின் பகுதிக்கூறுகளாக விளங்கும் அமினோ அமிலங்களாகப் இவை பிரிகின்றன. கீழ்க்கண்டவை இதற்கு எடுத்துக் காட்டுகளாகும்.

அ) புரோட்டமைன்கள், ஹிஸ்டோன்கள்: கார அமினோ அமிலங்களைப் பெற்று, காரத் தன்மையுடைய புரதங்களான இவை நீரில் கரையாதவை, வெப்பத்தினால் திரள்வதில்லை.

ஆ) ஆல்புமின்கள்: இயற்கையில் அதிகம் காணப்படும் இவை, நீரில் கரையும், வெப்பத்தினால் திரளும் புரதங்களாகும்.

இ) குளோபுலின்கள்: இதில் சூடோகுளோபுலின், யூகுளோபுலின் என இருவகைகள் உள்ளன. இவை இரண்டும் வெப்பத்தில் திரளக் கூடியவை. சூடோகுளோபுலின் நீரில் கரையா புரதமாகவும், யூகுளோபுலின் கரையும் புரதமாகவும் உள்ளன.

(ii) இணைவுப் புரதங்கள்: புரதப்பகுதியையும், புரதமல்லாத தொகுப்புகளையும் பெற்ற சிக்கலான புரதங்களாகும். கோளப்புரதங்களாகத் திகழும் இவை கீழ்க்கண்டவாறு பாகுபடுத்தப் படுகின்றன.

அ) உலோகப் புரதங்கள்: உலோக மூலகங்கள் இணைந்த புரதங்கள் இவையாகும். Hg, Ag, Cu, Zn ஆகிய உலோக மூலகங்களை உறுதியாக பிணைத்துக் கொள்ளும் கொல்லாஜென்கள் இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

ஆ) நிறமிப் புரதங்கள்: வண்ண நிறமிகளைப் பிணைத்துக் கொள்ளும் புரதங்களான இவற்றிறகுப், பச்சையத்தின் குளோரோப்பிளாஸ்டின், சைட்டோகுரோம்கள், ஃப்பிளேவோபுரதங்கள், காடலேஸ் நொதி, இரத்தப் புரதமாகிய ஹீமோகுளோபின், மயோகுளோபின், ஹீமோசயனின், ஹீமோஎரித்ரின் ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

இ) கிளைகோபுரதங்கள்,மியூகோபுரதங்கள்: இவை கார்போஹைட்ரேட்டுகளைப் புரோஸ்தெட்டிக் தொகுப்பாக பெற்றுள்ளன. டயாஸ்கோரியா (Dioscorea) கிழங்குகளில் காணப்படும் மியூசின் இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும்.

ஈ) ஃபாஸ்ஃபோபுரதங்கள்: ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலத்தை புரோஸ்தெட்டிக் தொகுப்பாகப் பெற்ற இவற்றிற்குப் பாலில் காணப்படும் கேசின் (Casein), முட்டையின் கரு உணவில் (Yolk) காணப்படும் ஒவோபுரதம் (ovoprotein) ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

உ) கெழுப்புப் புரதங்கள்: கொழுப்புச் சேர்மங்களைப் புரோஸ்தெட்டிக் தொகுப்பாகப் பெற்ற இவற்றிற்கு, லெசித்தின் (lecithin), கொலெஸ்ட்ரால் (cholesterol), முட்டை கரு உணவின் கொழுப்புப் புரதங்கள் ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

ஊ) உட்கருப் புரதங்கள்: உட்கரு அமிலங்களுடன் இணைவு பெற்ற புரதங்கள் இவைகளாகும். எடுத்துக்காட்டு – ஹிஸ்டோன்

(iii) வருவிய பரதங்கள்: எதிர்தாக்க ஆற்றலுடைய வேதிச்சேர்மங்கள், நொதிகள், வெப்பம் ஆகியவற்றால் புரதங்கள் சிதைந்து உருவாகும் சிதைவுப் புரதங்கள் வருவிய புரதங்களாகும். புரதத்தின் பருமன் மாறாத நிலையில் சிதைவு ஏற்பட்டு உருவானால் அவை முதல் நிலை வருவிய புரதங்கள் எனப்படுகின்றன. புரோட்டியான்கள் (proteans), மெட்டா புரதங்கள் (metaproteins) திரிபுற்ற புரதங்கள் (coagulated proteins) ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். வருவிய புரதங்கள், மூலப் புரதத்தைவிட சிறியவையாக இருப்பின் அவை இரண்டாம் நிலை வருவிய புரதங்கள் எனப்படுகின்றன. புரோட்டியேஸ்கள், பெப்டோன்கள், பாலிபெப்டைடுகள் ஆகியவை இவற்றிற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

11.7.4. உயிரியல் சார் பணிகளின் அடிப்படையில் அமைந்த வகைப்பாடு

இதனடிப்படியில் புரதங்கள் கீழ்க்கண்ட எட்டு வகைகளாகப் வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

1) நொதிப்புரதங்கள்: கோளப்புரதங்களாக விளங்கும் இவை உயிரிய வினைவூக்கிகள் எனப்படுகின்றன.

2) உருக்கொடுக்கும் புரதங்கள்: உயிரினங்களின், செல்களில் உள்ள பிளாஸ்மாச் சவ்வு, செல் நுண் உள்ளுறுப்புகளைச் சூழ்ந்துள்ள சவ்வுகளை அமைக்கும் சவ்வுப்புரதம், உயிரினங்களுக்குப் பாதுகாப்பையும் வலுவையும் தரும் அமைப்புகளில் உள்ள கொல்லாஜென், எலாஸ்டின், கெராட்டின், ஃபைப்ரின் போன்றவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

3) கடத்திப்புரதங்கள்: உயிரினங்களில் மூலக்கூறுகள், அயனிகள் ஆகியவற்றைக் கடத்த உதவும் கொழுப்புப் புரதங்கள், மயோகுளோபின், ஹீமோகுளோபின் ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

4) சேமிப்புப் புரதங்கள்: தாவரங்களில் புரோடினோ பிளாஸ்ட்டுகள் என்ற வெளிர்கணிகங்களில் உள்ள புரதங்கள், விலங்கினங்களில்

வளரும் கருவிற்கு உணவாகச் சேமிக்கப்படும் ஒவால்புமின், கேசின், ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

5) இடப்பெயர்விற்கு உதவும் புரதங்கள்: விலங்கினங்களின் எலும்புத் தசைகளில் உள்ள ஆக்டின், மையேசின், செல் உள் இடப்பெயர்விற்கு உதவும் டியூபுலின் ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

6) பாதுகாக்கும் புரதங்கள்: நோயூக்கும் நுண்ணுயிரிகளிலிருந்து பாதுகாக்கும் எதிர்உயிர்பொருட்கள், இரத்தப் போக்கிலிருந்து பாதுகாக்க இரத்தத்தை உறையச் செய்யும் ஃபைபிரினோஜென், திராம்பின் ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

7) ஒழுங்குபடுத்தும் புரதங்கள்: செல்களின் வளர்சிதைமாற்றச் செயல்களை ஒழுங்குபடுத்த உதவும் இன்சுலின் G-புரதங்கள், வளர்ச்சி ஹார்மோன்கள் ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

8) நச்சுப்புரதங்கள்: நொதிகளை நீராற்பகுப்புறச் செய்யும், செயலிழக்கச் செய்யும் புரதங்கள் இவையாகும். பாம்பின் நச்சு, ரிசின் (ricin) ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

12. நொதிகள் (Enzymes)

உயிருள்ள செல்கள், வாழ்வியல் செயல்களை இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகிய சூழலில் விரைவாக நிகழ்த்த உதவும் கரிம அல்லது உயிரிய வினை ஊக்கிகளாகத் திகழ்பவை நொதிகளாகும். ஈஸ்டு செல்களில் முதன் முறையாக நொதி கண்டு பிடிக்கப்பட்டதால் 'ஈஸ்டிலிருந்து' (in yeast) என்ற பொருள் உணர்த்தும், ஆங்கிலச் சொல்லான 'என்சைம்' என்ற சொல் இதற்கு பெயரிடப்பட்டது. ஈஸ்டில் கண்டறியப்பட்ட நொதி, ஆல்கஹாலை நொதித்தல் மூலம் உண்டாகும் ஸைமேஸ் (zymase) ஆகும்.

உயிரினங்களின் செல்களில் உருவாக்கப்படும், நீரில் கரையக் கூடிய, கூழ்ம மூலக்கூறுகளாக இவை திகழ்கின்றன. அனைத்து நொதிகளும், கோளப்புரதங்களாகத் திகழ்வதுடன், சிக்கலான முப்பருமான உருவமைப்பை வெளிப்படுத்துகின்றன. இவை தங்களின் புறப்பரப்பின் ஒரு பகுதியில் தளப்பொருளை பிணைத்துக் கொள்ளும் தகுதி படைத்தவை.

வேதி வினையூக்கிகளுக்குள்ள பண்பான, மீள்வினையின் போது வேதிச் சமநிலைப் புள்ளியில் மாற்றம் எதையும் ஏற்படுத்தாமல், வினையின் வேகத்தை மட்டும் மாற்றக் கூடிய பண்பு நொதிகளுக்கும் உள்ளது. இருப்பினும் கீழ்க்கண்ட பண்புகளில் பிற வேதி வினையூக்கிகளிலிருந்து இவை வேறுபடுகின்றன.

i) உயிருள்ள செல்களில் உற்பத்தியாகும், புரதத்தால் ஆன கரிமச் சேர்மங்களாக இவை திகழ்கின்றன.

ii) கூழ்மத் தன்மை பெற்றிருப்பதால் வினையின் போது நிரந்தரமாகச் சிதைந்து விடுவதில்லை. இருப்பினும், செயலிழப்பு அல்லது உரு அமைப்பில் சிதைவு ஆகியவற்றிற்கு உள்ளாகின்றன. எனவே தான் செல்களில் இவை மேன் மேலும் தொடர்ந்து உற்பத்தியாகிக் கொண்டே இருக்கின்றன.

iii) ஒன்று அல்லது அமைப்பில் உறவு கொண்ட ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட குறிப்பிட்ட தளப்பொருட்களின் மேல் செயல்படும் குறிப்புச் சார்புத் தன்மை இவற்றின் தனிச் சிறப்பாகும்.

பெரும்பாலான தாவர நொதிகள் உருவான செல்களின் உள்ளேயே வினையைச் செய்கின்றன. எனவே அவை செல்உள் நொதிகள் (intracellular enzymes or endoezymes) எனப்படுகின்றன. அனைத்துத் தாவர நொதிகளும் செல்களின் வளர்சிதை மாற்றச் செயல்களை ஊக்கப்படுத்துகின்றன. ஆனால், ஒரு சில நொதிகள் உருவான செல்களை விட்டு வெளிவந்து, புறச்சூழலில் வினையை நிகழ்த்துகின்றன. இவ்வகை நொதிகள் புறசெல் நொதிகள் (extracellular enzymes or exoenzymes) எனப்படுகின்றன. பாக்டீரியங்கள், பூஞ்சைகள், சில பூச்சி உண்ணும் தாவரங்களான

டிரோசீரா (*Drosera*), *நெபெந்தெஸ்* (*Nepenthes*) போன்றவற்றில் உருவாகும் நொதிகள் இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். விலங்கின நொதிகளைப் போல் இவையும் தளப்பொருட்களின் செரிமானத்திற்கு உதவும் நொதிகளாக உள்ளன.

12.1. நொதிகளின் பொதுப் பண்புகள்

12.1.1. வேதிப்பண்புகள்

வேதித் தன்மையில் நொதிகள் எளிய புரதத்தால் ஆனவை, இணைவுப் புரதத்தால் ஆனவை, என இரண்டாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றுள் முதல் வகைக்கு யூரியேஸ் (urease), அமைலேஸ் (amylase) ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இணைவுப் புரதத்தால் ஆன நொதிகள், புரதப்பகுதியான அபோஎன்சைம் (apoenzyme) என்ற பகுதியையும், அதனுடன் தொடர்பு கொண்ட புரதமல்லாத பகுதியான புரோஸ்தெட்டிக் தொகுப்பையும் (prosthetic group) பெற்றவை. இந்த இருபகுதிகளும் தனித்திருக்கும் நிலையில் வினை எதையும் செய்யும் தகுதி அற்றவைகளாக உள்ளன. ஆனால் இணைந்திருக்கும் நிலையில் செயல்படும் நொதியாக மாறுகின்றன. செயல்படும் இந்நொதி ஹோலோஎன்ஸைம் (holoenzyme) என அழைக்கப்படுகிறது.

இணைவுப் புரதத்தால் ஆன நொதிகளில், புரோஸ்தெட்டிக் தொகுப்புப் பிரிக்க முடியாத நிலையில் அபோஎன்ஸைமுடன் இணைந்து வினை ஊக்கச் செயலில் பங்கு பெறுகின்றன. ஆனால், சில சமயம் டயாலிசிஸ் (dialysis) முறையில் தனித்துப் பிரியும் விதத்தில் இத்தொகுப்பு நலிவாகப் பிணைந்துள்ளது. இவ்வாறு தனித்துப் பிரிதலடையக்கூடிய புரோஸ் தொட்டிக் தொகுப்புகள் கரிமச்சேர்மங்களாக இருப்பின், அவை இணை நொதிகள் (coenzyme) என்றும், உலோக மூலகங்களாக இருப்பின் அவை இணைக்காரணிகள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. காடலேஸ் (catalase), பெராக்சிடேஸ் (peroxidase), சைட்டோகுரோம் ஆக்சிடேஸ் (cytochrome oxidaese) போன்ற நொதிகளில் காணப்படும் இரும்புப் பொருளால் ஆன ஹீம் (haeme) என்ற புரோஸ்தொட்டிக் தொகுப்பு, பெப்டைடு பிணைப்பைத் துண்டிக்கும் பல்வேறு நொதிகளின் செயல்பாட்டிற்கு உதவும் Mn, Mg, Zn ஆகிய உலோக மூலகங்கள், இணைக்காரணிகளுக்குச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

12.1.2. இயற்பியல் பண்புகள்

நொதிகள் அனைத்தும் கூழ்மங்களாக உள்ளன. 12000 முதல் ஒரு மில்லியனுக்கு மேலான மூலக்கூறு எடையுள்ள மிகப்பெரிய மூலக்கூறுகளாக உள்ளன. எனவே, வினைக்கு உள்ளாகும் தளப்பொருட்களின் மூலக்கூறுகளை விட இவை மிகப் பெரியவை. பெரிய மூலக்கூறுகளாக இருப்பதுடன், நீருடன் சேர்ந்து கூழ்மமாகி

விரவிய துகள்களாக விடப்படுகின்றன. கூழ்மமாக இருப்பதால் டயாலிசிஸ் முறையில் இவற்றைத் தனித்துப் பிரிக்க இயலாது.

12.1.3. வினையூக்கித் திறன்

இவை மிக உயர்ந்த வினையூக்கித் திறனைப் பெற்றுள்ளன. வினையின் முடிவில், பெரும்பாலும் எந்தவித, அளவுசார்ந்த, பண்புசார்ந்த மாற்றங்களையும் அடையாமல் திரும்பக் கிடைப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். தளப்பொருளுடன் செறித்த நிலையில் உள்ளபோது, அதாவது அனைத்துத் தளப்பொருள் மூலக்கூறுகளையும் பிணைத்துக் கொண்ட நிலையில், ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவில், எத்தனை தளப்பொருட்கள் விளைபொருட்களாக மாற்றப்படுகின்றனவோ, அந்த எண்ணிக்கையின் அடிப்படையில் ஒரு நொதியின் வினையூக்கித் திறன் அளந்தறியப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக காட்டலேஸ் என்ற நொதி தன்னைப் போல 5 மில்லியன் எடையுள்ள ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடு மூலக்கூறுகளைச் சிதைத்து H_2, O_2 என்ற விளைபொருட்களை உருவாக்க முடியும். இதனைக் கொண்டு எந்த அளவிற்கு நொதிகள் வினையூக்கித் திறன் பெற்றிருக்கின்றன என்பதை நாம் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

12.1.4. குறிப்புச்சார்புத் தன்மை

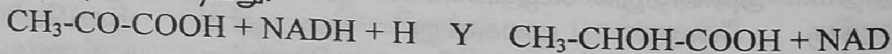
மற்ற வேதிக் வினையூக்கிகளில் காணப்படாத, நொதிகளுக்கு மட்டுமே உரிய சிறப்பியல்பு இதுவாகும். கீழ்க்கண்ட நான்குவகை குறிப்புச்சார்புத் தன்மைகளை நொதிகள் வெளிப்படுத்துகின்றன:

i) தனிக் குறிப்புச்சார்புத் தன்மை (Absolute specificity) .

ஒரு குறிப்பிட்ட வினையை மட்டும் ஊக்கப்படுத்தக் கூடிய தன்மை இவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது. எ.கா. யூரியேஸ். இது யூரியாவின் மேல் மட்டுமே வினை புரியக்கூடியது.

ii) தொகுப்புக் குறிப்புச்சார்த் தன்மை (Group specificity)

அமைப்பில் உறவு பெற்ற சேர்மங்களால் ஆன தொகுப்பின் மேல் வினை புரியும் தன்மை இவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது. லாக்டிக்டி ஹைட்ரோஜினேஸ் (LDH) இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும். இது லாக்டிக்அமிலம், பைரூவிக்அமிலம் ஆகியவற்றை இடைமாற்றம் செய்வதுடன் இவற்றுடன் உறவு பெற்ற பிற சேர்மங்களின் மீதும் வினைபுரியக்கூடியது.



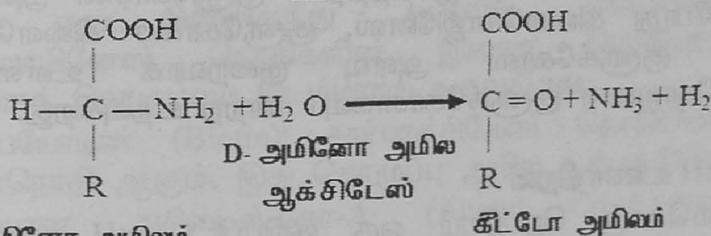
CH_3-CO-COOH + NADH + H Y CH_3-CHOH-COOH + NAD

பைரூவிக் அமிலம் LDH லாக்டிக் அமிலம்

iii) ஒளிமிய குறிப்புச்சார்புத் தன்மை (Optical specificity)

ஒரு குறிப்பிட்ட ஒளியில் மாற்றியச் சேர்மங்களின் மேல் மட்டும் வினையாற்றும் தன்மை இவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது. எ.கா: D-அமினோ அமில ஆக்சிடேஸ். இது D-அமினோ அமிலங்களை மட்டும் ஆக்சிஜன் ஏற்றமடையச் செய்து, அவற்றிற்குரிய கீட்டோ அமிலங்களாக மாற்றுகிறது. (படம்- 83).

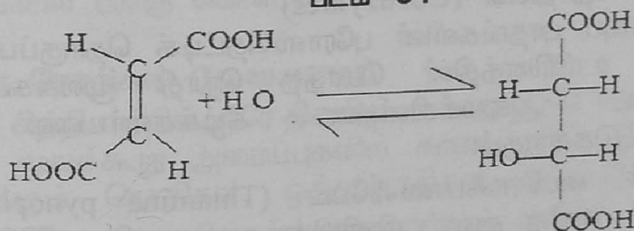
படம்-83



iv) வடிவமைப்புசார் குறிப்புச் சார்புத் தன்மை (Geometrical specificity)

சிஸ், டிரான்ஸ் வகை சேர்மங்களின் மேல் மட்டும் வினையாற்றும் தன்மை இவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது. எ.கா: ஃபியூமரேஸ். இது டிரான்ஸ் வகை ஃபியூமாரிக் அமிலத்தின் மேல் வினைபுரிந்து அதை L-வகை மேலிக் அமிலமாக மாற்றுகிறது. ஆனால், ட்ரான்ஸ் ஃபியூமாரிக் அமிலத்தின் மாற்றியமான சிஸ் –மேலிக் அமிலத்தின் மீதோ அல்லது D-மேலிக் அமிலத்தின் மிதோ வினை புரிவதில்லை (படம் –84).

படம் –84



12.1.5. வெப்ப நெகிழ்வுத் தன்மை (Thermolability)

நொதிகள், வெப்பத்தை உணரும் திறனை அதிகம் பெற்றவை. இவை புரதங்களாக இருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். ஒவ்வொரு 10°C வெப்பநிலை உயர்விலும், நொதியின் செயல் வீதம் மூன்றுமடங்கு உயர்கிறது. ஆனால், வளர்சிதை மாற்றச் செயல்கள் நிகழும் செல்களில், உயர் வெப்பநிலையில் (60°C-க்கு அதிகமான) நொதிகள் திரிந்துபோவதால் செயலற்றுப் போகின்றன. எனவே வினை வீதம் திடீரென வீழ்ச்சியடைகிறது. இருப்பினும் விதை செல்கள், வித்துக்கள்

ஆகியவற்றில் காணப்படும் நொதிகள், 100°C முதல் 120°C வரையிலான உயர் வெப்ப நிலையினையும் தாங்கும் திறன் பெற்றவை.

12.1.6. மீள் வினைத் தன்மை (Reversibility)

சில நொதிகளின் செயல்கள் மீள்வினைத் தன்மை கொண்டவை. லைபேஸ், கிளைகோஜினேஸ் ஆகியவற்றில் இப்பண்பு காணப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக மனித இரத்தத்தில் குளூகோசின் அளவு உயர்வாக உள்ள போது கிளைகோஜினேஸ், குளூகோசை கிளைகோஜனாகவும், மாறாக, குளூக்கோஸ் அளவு குறைவாக உள்ள நிலையில் கிளைக்கோஜனை குளூக்கோசாகவும் மாற்ற உதவுகிறது.

12.1.7. pH உணர்திறன்

ஒவ்வொரு நொதியும் ஒரு குறிப்பிட்ட pH அளவில் மட்டுமே சிறப்பாக வினையாற்றுகிறது. வினை ஊடகத்தின் H^+ அயனிச் செறிவு கூடுதலால் அல்லது குறைவதால், இந்த pH அளவில் குறிப்பிடப்படும்படியான மாற்றம் நிகழும் போது, இதன் செயல்பாடு குறைந்து விடுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, பெப்சின் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH 0.5 முதல் 1.6 (அமில நிலை) ஆகவும், காட்டலேஸ், யூரியேஸ், ரிபோநியூக்ளியேஸ் ஆகியவற்றில் இந்த அளவு 7.0 ஆகவும் (நடுநிலை), ஃபியூமரேஸ், டிரிப்சின் ஆகியவற்றில் இந்த அளவு 7.8 முதல் 8.7 ஆகவும் (காரநிலை) இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

12.2. இணை நொதிகள் (Coenzymes)

இணைவுப் புரதங்களின் புரோஸ்தெட்டிக் தொகுப்பாக விளங்கும் இவை ஓர் உயிரினத்தின் மொத்த நொதி மூலக்கூறுகளில் ஒரு விழுக்காட்டை அமைக்கின்றன. கீழ்க்கண்டவை இவற்றிற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்:

i) தயாமைன் பைரோஃபாஸ்ஃபேட் (Thiamine pynophosphate-TPP): தயாமைன் என்ற வைட்டமினிலிருந்து வருவிய சேர்மமாகிய இது கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்ற நொதியான கார்பாக்ஸிலேஸ் நொதியின் இணை நொதியாகத் திகழ்கிறது.

ii) நிக்கோட்டினமைடு அடினைன் டைநியூக்ளியோடைடு (Nicotinamide adenine dinucleotide–NAD): இது ஒரு பிரிடைன் நியூக்ளியோடைடாகும். இதன் ஃபாஸ்ஃபேட் சேர்க்கையுற்ற சேர்மம் NADP எனப்படுகிறது. டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதிக்கு, இணை நொதியாக விளங்கும் இவை இரண்டும், உயிரிய ஆக்சிஜனேற்ற, குறைதல் செயல்களின் போது முறையே ஹைட்ரஜன் நீக்க அல்லது ஹைட்ரஜன் ஏற்ற வினைகளைச் செய்ய உதவுகின்றன.

iii) ஃபிளேவின் மானோ நியூக்ளியோடைடு மற்றும் டைநியூக்ளியோடைடு (Flavin mononucleotide – FMN or FAD): இவை இரண்டும் ரிபோஃபிளேவின் என்ற வைட்டமினிலிருந்து வருவிய சேர்மங்களாகும். இவையும் உயிரிய ஆக்சிஜனேற்ற, குறைதல் செயல்களின் போது ஹைட்ரஜன் தாங்கிகளாகச் செயல்பட உதவுகின்றன.

iv) பிரிடாக்சால்ஃபாஸ்ஃபேட் (Pyridoxal phosphal): இது பிரிடாக்சின் என்ற வைட்டமினிலிருந்து வருவிய சேர்மமாகும். இது டிரான்ஸாமினேஸ் நொதிகளின் இணை நொதியாக இருந்து அமினோத் தொகுப்பை இடம்மாற்ற உதவுகிறது.

v) இது பயோடின் (Biotin): கார்பாக்சிலேஸ் நொதியின் மற்றொரு இணைநொதி ஆகும். இது கொழுப்பு அமில உற்பத்தியின் தொடக்க வினையான அசிடைல்-கோ-A (Acetyl Co–A)-வை கார்பன் ஏற்றமடையச் செய்யவும் உதவுகிறது.

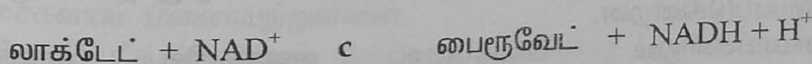
vi) கோ–ஏ (Co–A): பாண்டோதெனிக் அமிலம் என்ற வைட்டமினின் வருவிய சேர்மம் கோ–ஏ ஆகும். இது தொகுக்க உதவும் நொதிகளின் இணைநொதியாகச் செயல்பட்டு 'அசைல்' – தொகுப்பை (Acyl-group) இடமாற்ற உதவுகிறது.

vii) அடினோசைன் டிரை-ஃபாஸ்ஃபேட் (ATP): ஃபாஸ்ஃபேட்டை இடமமாற்ற உதவும் வினைகளில் ATP-யும் அதோடு உறவு கொண்ட சேர்மங்களும் (ADP, AMP) உதவுகின்றன.

viii) இது வைட்டமின் B12: மெத்தில் தொகுப்பை இடம்மாற்ற உதவும் வினைகளில் பங்கு கொள்ளும் வைட்டமின் சேர்மம் ஆகும்.

12.3. ஒத்த நொதிகள் (Isoenzymes)

ஒரே சிற்றினத்தில், ஒரே திசுவில் அல்லது ஒரே செல்லில் ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட மூலக்கூறு அமைப்புகளில் காணப்பட்டு, ஒரே வினையினை ஊக்குவிக்கும் நொதிகள், ஒத்தநொதிகள் எனப்படுகின்றன. இவை மின்னாற்பிரிப்பு முறையில் (electrophoresis) எளிதில் பிரித்தறியப்படும் ஒரே நொதியின் பல வகைகளாகத் திகழ்கின்றன. இயற்கையில் இவை அதிகம் காணப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக லாக்டிக் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி (LDH) பெரும்பாலான முதுகு நாண்பெற்ற விலங்குகளில் ஐந்து வடிவங்களில் வெவ்வேறு உறுப்புகளில் காணப்படுகின்றன. இவை அனைத்தும் கீழ்க்கண்ட ஒரே வகையான மீள் வினையை ஊக்குவிக்கின்றன.


லாக்டேட் + NAD^+ c பைரூவேட் + NADH + H^+

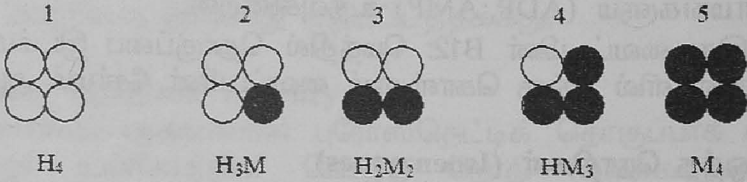
அடிப்படையில் இரு வகையான LDH-கள் காணப்படுகின்றன.

i) இதயத் திசு LDH: இதயத்திசுக்களில் அதிக அளவில் உள்ள இது H–வகை எனப்படும் நான்கு ஒத்த துணை அலகுகளால் ஆனது. பைரூவேட் அளவு குறைவாக உள்ள நிலையில் மட்டுமே இது வினைபுரியக்கூடியது.

ii) தசைத்திசு LDH: எலும்புத் திசுக்களில் அதிக அளவில் உள்ள இது M – வகை எனப்படும் நான்கு ஒத்த துணை அலகுகளால் ஆனது. பைரூவேட் அளவு அதிகமாக உள்ள நிலையில் மட்டுமே இது வினைபுரியக்கூடியது.

இவை இரண்டின் H, M ஆகிய இரு வகையான துணை அலகுகள், ஒத்த மூலக்கூறு எடையைப் பெற்றிருந்தாலும், காணப்படும் அமினோ அமிலங்களின் வகைகளில், ஆற்றும் நோய்த் தடுப்புப் பணிகளில் வேறுபட்டிருக்கின்றன. இந்த இரு வகை LDH–கள், H அல்லது M துணை அலகுகளால் மட்டும் ஆன டெட்ராமெர்களாக இருப்பின் அவை H_4, M_4 என்ற தூய இனங்களாகக் கருதப்படுகின்றன. இவை இரண்டின் துணை அலகுகளும் கலந்து காணப்படின் H_3M, H_2M_2, HM_3 என்ற மூன்று வகைகள் உருவாகின்றன. இந்த ஐந்தும் H_4, H_3M, H_2M_2, HM_3, M_4 என வரிசைப்படுத்தப்பட்டு, முறையே LDH-1 முதல் LDH-5 வரை எண்களிடப்பட்டு வகைப்படுத்தப்படுகின்றன (படம்–85).

படம்–85



இவற்றின் செறிவின் ஒப்பீட்டு அளவு திசுக்களுக்கேற்ப மாறுபடுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக LDH_1 (H_4) LDH_2 (H_3M) ஆகிய இரண்டும் இதயத் திசுவில் 60 விழுக்காட்டை அமைக்கின்றன. இதே போல் LDH_4 (HM_3), LDH_5 (HM_4) ஆகியவை கல்லீரலில் 80 விழுக்காடு அளவில் காணப்படுகின்றன.

நோயின்போது, திசுச் சிதைவினால் செல்கள் அழியும் சமயம் இவை செல்லிற்கு வெளியே விடப்பட்டு இரத்தத்தில் கலக்கின்றன. எனவே இரத்தத்தின் சீரத்தில் இந்நொதிகளின் செறிவு அதிகரிக்கிறது. இந்தச் செறிவைக் கொண்டு, இதயம், கல்லீரல், கணையம் ஆகியவற்றின் நோய்கள், பிராஸ்டேட் சுரப்பிப் புற்றுநோய் ஆகியவை இனமறியப்படுகின்றன.

தாவரங்களிலும் வெவ்வேறு வகைகளில் காணப்படும் ஒத்தநொதிகள் உள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக செல்சுவர் பொருளான லிக்னின் உற்பத்திக்கு உதவும் பெராக்ஸிடேஸ் நொதி வெவ்வேறு

வகைகளில் காணப்படும் ஒத்தநொதிகளைக் கொண்ட ஒரு நொதியாகும்.

12.4. நொதிகளின் செயல்படும் இலக்கு

புரதங்களில் கோளப்புரதங்களாக விளங்கும் நொதிகள் மட்டுமே இவ்வகையான பகுதிகளைப் பெற்றுள்ளன.

நொதி மூலக்கூறுகளின் பருமனைவிடத் தளப்பொருள் மூலக்கூறுகள் மிகச் சிறியவையாக இருப்பதால் இவற்றைப் பரப்பில் பிணைத்து வைத்துக்கொள்வதற்கென குறிப்பிட்ட இலக்குகள் காணப்படுதல் வேண்டும். அப்படிப்பட்ட இலக்குகளே செயல்படும் இலக்குகள் எனப்படுகின்றன. சில சமயம் இவை வினையூக்கி இலக்குகள், அல்லது தளப்பொருள் இலக்குகள் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. இந்த இலக்குகளின் சிறப்பியல்புகள் பின்வருமாறு:

i) நொதி மூலக்கூறு ஒன்றில் மிகச் சிறிய பகுதியாக இது விளங்குகிறது.

ii) இது, புரதத்தின் ஒரு புள்ளியாகவோ, தளமாகவோ விளங்காமல், முப்பருமான உள் பொருளாகத் திகழ்கிறது. அதாவது, நொதி மூலக்கூறை அமைக்கும் பாலிபெப்டைடு சங்கிலியின் வெவ்வேறு இடங்களில் உள்ள அமினோ அமிலங்களடங்கிய நீள்வரிசைப் பகுதிகளே இந்த இலக்கை அமைக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, லைசோசைம் என்ற நொதி ஆறு துணை அலகுகளைப் பெற்ற ஒரு செயல் இலக்கைப் பெற்றுள்ளது. இந்த ஆறு இலக்குகளில் காணப்படும் அமினோ அமிலங்களின் எண்ணிக்கை 35, 52, 59, 62, 63, 107 என இருப்பது கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

iii) நொதியின் செயல் இலக்கு ஒன்றில் அமைந்திருக்கும் அணுக்கள் வரையறுக்கப்பட்ட முறையில் காணப்படுகின்றன. நொதிகளுக்கு குறிப்புச்சார்புத்தன்மை ஏற்பட இப்பண்பு உதவுகிறது. ஆனால் சில சமயம், நொதிகள், அவற்றிற்குரிய தளப்பொருட்களிலிருந்து சிறிதளவு வேறுபட்ட சில பொருட்களைப் பிணைத்துக் கொள்வதற்காக தங்களது செயல்படும் இலக்கின் உரு அமைப்பில் சில மாற்றங்களைச் செய்து கொள்கின்றன. இந்நிலையில் தளப்பொருள் பிணைவதற்குப் பதிலாக இந்த அயல் பொருள் இணைந்து நொதியின் செயல்பாடு தடைப்படுகிறது.

iv) தளப்பொருளும், நொதியும், இந்த இலக்கில் மிக நலிந்த பிணைப்பு விசைகளால் பிணையுற்றுள்ளன.

v) அதிக நீர் நீக்கச் செயல் நிகழ்ந்து, உருவாகும் பள்ளங்களாகவோ, பிளவுகளாகவோ இந்த இலக்குகள் திகழ்கின்றன. இந்த இலக்குகளில் பொதுவாக அஸ்பார்டிக் அமிலம், குளூடாமிக் அமிலம், லைசின், சீரைன் போன்ற அமினோ அமிலங்கள் அதிக

அளவில் காணப்படுகின்றன. இவற்றின் பக்கச் சங்கிகளின் தொகுப்புகளாகிய – COOH, - NH_2 – CH_2OH ஆகியவை செயல்படும் இலக்கின் வினையூக்கித் தொகுப்புகளாகச் செயல்படுகின்றன.

12.5. நொதியின் ஒழுங்குபடுத்தும் இலக்கு

வளர்சிதைமாற்றச் செயல் ஒன்றைச் செல்லினுள் நிகழ்த்த பல நொதிகள் தொகுப்பாகச் சேர்ந்து பணியாற்றுகின்றன. இவ்வாறான நொதித்தொகுப்பில், ஒரு நொதியின் வினையால் உண்டாகும் விளைபொருள், அடுத்த ஒன்றின் தனப்பொருளாகத் திகழ்ந்து, தொடர்வினை நிகழ்கிறது. இவ்வகையான பல்நொதித் தொகுப்பு 15 அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட நொதிகளை ஒரு குறிப்பிட்ட வரிசையில் பெற்றுள்ளது.

பெரும்பாலான பல்நொதித் தொகுப்பில் முதல் நொதியே முன்னேற்றம் உண்டுபண்ணும் (pacemaker) நொதி என அழைக்கப்படுகிறது. இதனைத் தொடர்ந்து வரும் நொதிகள் யாவும், இந்த முன்னேற்றப் பாதையைப் பின்பற்றி வினையூக்கிச் செயலை மிகையாகச் செய்யும் நொதிகளாக உள்ளன. முன் நிகழும் வினைகளால் கிடைக்கும் தளப்பொருள்கள் தடையின்றி வந்து கொண்டிருக்கும் காலம் வரை இந்நொதிகள் யாவும், வளர்சிதைமாற்றச் செயலை முன்னேற்ற திசையில் நடத்துகின்றன. இது தவிர இந்நொதிகளுக்கு எந்தவிதக் குறிப்புணர்வும் தேவையில்லை. ஆனால், முதல் நொதியான முன்னேற்றமுண்டு பண்ணும் நொதியின் செயல்பாட்டில் ஏற்ற இறக்கங்களை ஏற்படுத்த, பல்வேறு வகையான, மூலக்கூறு சார்ந்த குறிப்புணர்வுகள் உதவுகின்றன. இதன் அடிப்படையிலேயே முழுவேதி வினையும், ஒழுங்குபடுத்தப்படுகிறது. எனவே, இந்த முதல் நொதி ஒழுங்குபடுத்தும் நொதி எனப்படுகிறது. இந்நொதியில் ஒழுங்குபடுத்தும் இலக்கு என்று ஒன்று காணப்படுகிறது. சகப்பிணைப்பு முறையிலோ அல்லது சகப்பிணைப்பற்ற முறையிலோ குறிப்புணர்த்தும் மூலக்கூறுகளை, இந்த இலக்கில் இணைத்துக் கொண்டு இந்த நொதி ஒழுங்குபடுத்தும் பணியைச் செய்கிறது.

சகப்பிணைப்பு முறையில் ஒழுங்குபடுத்தும் நொதிக்குக் கிளைகோஜென் ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ் எடுத்துக்காட்டாகும். இந்நொதியின் ஒழுங்குப்படுத்தும் இலக்கு சீரைன் அமினோ அமிலங்கள் கொண்ட பகுதியில் உள்ளது. இந்த இலக்கில் உள்ள இந்த அமிலங்கள் அனைத்தும் ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடையும் போது நொதி, செயலூக்க நொதியாக மாறுகிறது. ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடையாத நிலையில் செயலூக்கமற்ற கிளைகோஜென் ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ் –b–யாக இது உள்ளது. இந்நொதியின் ஒழுங்குபடுத்தும் இலக்கில் உள்ள சீரைன்களை, ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ் –b கைனேஸ், ஃபாஸ்ஃபேட்

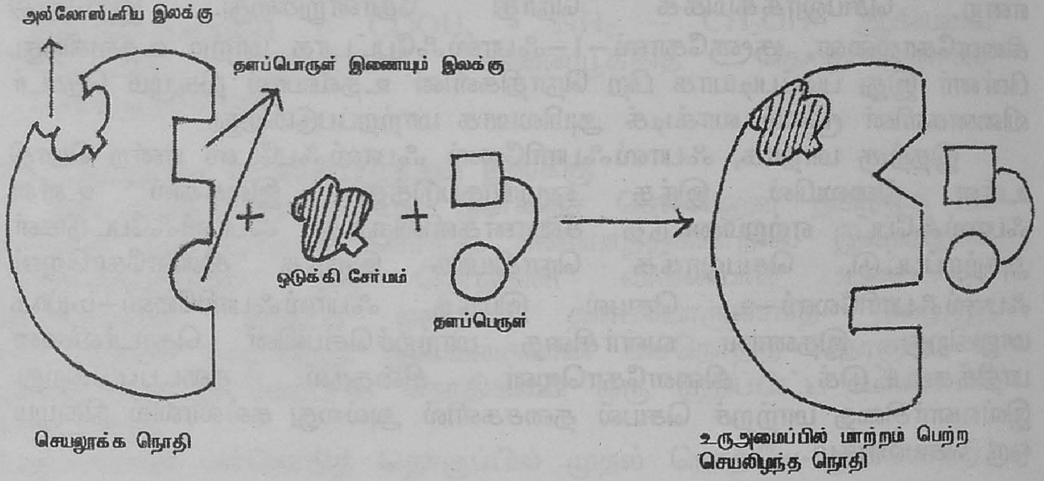
ஏற்றமடையச் செய்யும் போது, கிளைகோஜென் ஃபாஸ்பாரிலேஸ்–a என்ற செயலூக்கமிக்க நொதி தோன்றுகிறது. இந்நொதி கிளைகோஜனை, குளூகோஸ்–1–ஃபாஸ்ஃபேட்டாக மாற்ற உதவுகிறது. பின்னர் இது படிப்படியாக பிற நொதிகளின் உதவியால் நிகழும் தொடர் வினைகளின் மூலம் லாக்டிக் அமிலமாக மாற்றப்படுகிறது.

இதற்கு மாறாக, ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ் ஃபாஸ்ஃபடேஸ் என்ற நொதி உள்ள நிலையில் இந்த ஒழுங்குபடுத்தும் இலக்கில் உள்ள ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடைந்த சீரைன்களிலிருந்து ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் அகற்றப்பட்டு, செயலூக்க நொதியாக இருந்த கிளைகோஜென் ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்–a, செயல் இழந்த ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்–b-யாக மாறுகிறது. இதனால் வளர்சிதை மாற்றச்செயலின் தொடர்வினை பாதிக்கப்பட்டுக், கிளைகோஜென் சிதைதல் தடைப்படுகிறது. இவ்வளர்சிதை மாற்றச் செயல் தசைகளில் அல்லது கல்லீரலில் நிகழும் ஒரு செயலாகும்.

12.6. அல்லோஸ்டீரிய முறை ஒழுங்குபடுத்துதல் (Allosteric mechanism of regulation):

பெரும்பாலான நொதிகள் சகப்பிணைப்பற்ற முறையில் ஒழுங்குபடுத்தப்படுகின்றன. இவை அல்லோஸ்டீரிய நொதிகள் எனப்படுகின்றன. இவ்வகையான நொதிகளுடன், நொதி வினையில் ஏற்றத் தாழ்வை ஏற்படுத்தும் மூலக்கூறுகள் அவற்றின் ஒழுங்குபடுத்தும் இலக்குகளுடன் சகப்பிணைப்பற்ற முறையில் பிணைத்துக் கொண்டு இவ்விளைவை ஏற்படுத்துகின்றன. எனவே இவ்வகை நொதிகளின் ஒழுங்குபடுத்தும் இலக்குகள், அல்லோஸ்டீரிய இலக்குகள் எனப்படுகின்றன. இந்த இலக்கில் இணையும் சேர்மம், நொதியின் செயலை ஒடுக்குவதாக இருந்தால் அதற்கு அல்லோஸ்டீரிய ஒடுங்கு செயல் என்று பெயர். அல்லோஸ்டீரிய இலக்கில் ஒடுக்கும் சேர்மம் ஒட்டிக் கொள்ளும் போது, நொதியின் உரு அமைப்பில், குறிப்பாக அதன் செயல்படும் இலக்கில், மாற்றங்கள் நிகழச் செய்கிறது. இதனால் தளப்பொருள் நொதியுடன் இணைவது தடைப்பட்டு, நொதி-தளக்கூட்டுப்பொருள் தோன்றாது போகிறது. எனவே நொதியின் செயல் ஒடுக்கப்படுகிறது (படம்–86).

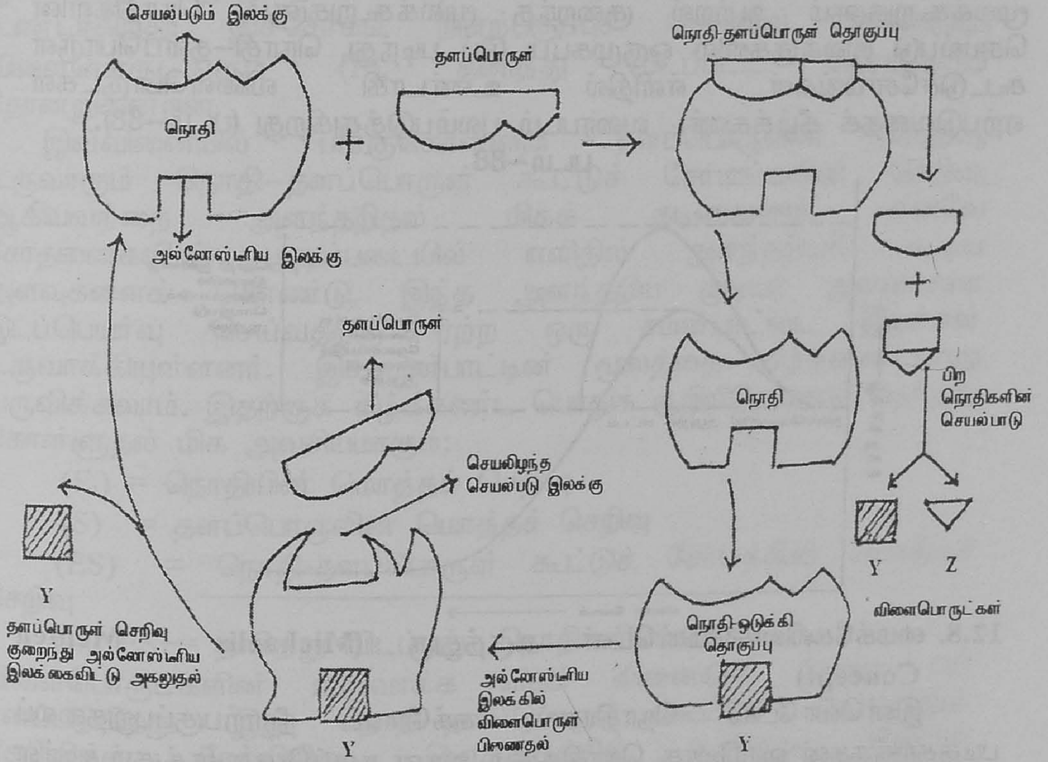
படம்–86



ஒடுக்கும் சேர்மம் அல்லோஸ்டீரிய இலக்கில் இணைவதற்கு முன்பாகவே, நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுத் தொகுப்புத் தோன்றி விடுமாயின், அல்லோஸ்டீரிய இலக்குகளில் உருமாற்றங்கள் நிகழ்ந்து, ஒடுக்கும் சேர்மங்கள் வந்திணைவது தடுக்கப்படுகிறது. இதனால் நொதி தடையின்றிச் செயல்பட்டு விளைபொருட்கள் தோன்றுகின்றன.

சில சமயம் விளைபொருட்கள், செல்லை விட்டு அகலாமல், செறிவடையுமாயின், அவை ஒடுக்கும் சேர்மங்களாகச் செயல்பட்டு, அல்லோஸ்டீரிய இலக்குகளில் பிணைந்து கொள்கின்றன. பல்வேறு நொதிகளின் உதவியால் வரிசையாக நிகழ்த்தப்படும் வினைகளில், முதல் வினைக்கு உதவும் நொதியின் அல்லோஸ்டீரிய இலக்கில் விளைபொருட்கள் பிணையுற்று, வினைதடைப்படும் போது, தொடர்ந்து நிகழ வேண்டிய வினைகள் பாதிக்கப்பட்டு, மொத்த வாழ்வியல் செயலில் பாதிப்பு ஏற்படலாம். இந்த விளைபொருட்கள் அல்லோஸ்டீரிய இலக்குக்களை விட்டு அகலும் போது நொதிகள் இயல்பான உரு அமைப்பைப் பெற்றுச் செயலூக்க் நொதியாக செயல்பட்டு வினை மீண்டும் நிகழத் தொடங்குகிறது. இவ்வகையான அல்லோஸ்டீரிய ஒழுங்குபடுத்தும் முறைக்கு, மீள்–திருப்பு (feed-back) ஒழுங்கு முறை என்று பெயர் (படம்–87).

படம் –87



12.7. நொதியின் இயக்க முறை (Mechanism of enzyme action)

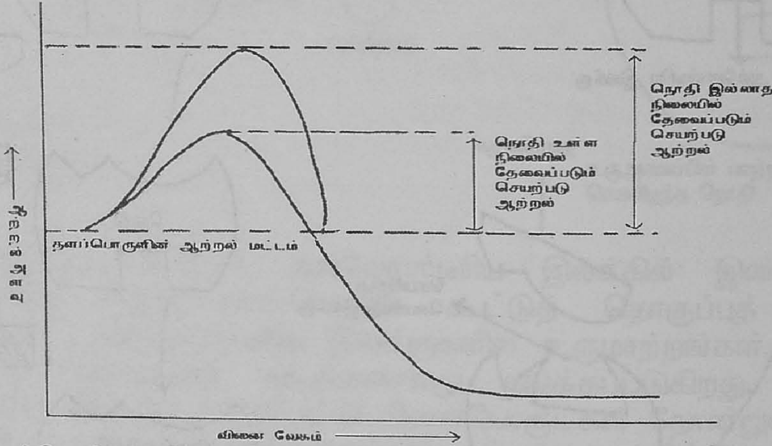
நொதிகள் உயிர்மக் வினையூக்கிகளாக இருப்பதால் அவற்றில் வினையூக்கிச் செயல் நிகழும் விதமே, அவற்றின் இயக்க முறையாகும். இந்த இயக்க முறை பின்வருமாறு:

இயல்பான வேதிவினை ஒன்றில், ஆற்றல் மிகு மூலக்கூறுகளே வினையில் பங்கு கொள்ள முடியும். மற்றவை வினைபடுவதில்லை. இந்த ஆற்றல் தடை, வினை வேகத்தைக் குறைக்கும் ஒன்றாகத் திகழ்கிறது. ஒரு மூலக்கூறுக்கு இந்த ஆற்றல் தடை உயரும்போது அதன் செயல்படாத் தன்மையும், நிலைப்புத் தன்மையும் உயர்கிறது. இந்த ஆற்றல் தடையை விலக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றல் செயற்படு ஆற்றல் எனப்படுகிறது.

வேதிவினையின்போது வெப்ப நிலை உயர்வு ஏற்படுமேயானால், செயலூக்கமுடைய மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அதிகரித்து வினை வேகம் அதிகரிக்கிறது. வெப்பநிலை உயர்வில், வெப்பக் கிளர்ச்சியின் காரணமாக மூலக்கூறுகளின் மோதல்கள் அதிகரிப்பதுடன் அவற்றின் இயக்கமும் அதிகரிப்பதே இதற்குக் காரணமாகும்.

ஆனால் நொதிகள் இந்த வினை ஊக்கத்தை இயல்பான வெப்ப நிலையிலேயே நிகழ்த்துகின்றன. இதற்குக் காரணம் நொதிகள் உள்ள நிலையில் வினைபடும் மூலக்கூறுகளுக்குத் தேவையான செயல்படு ஆற்றல் அளவு குறைக்கப்படுவதேயாகும். எனவே தான் ஆற்றல் மிகு மூலக்கூறுகளும் ஆற்றல் குறைந்த மூலக்கூறுகளும், நொதிகளின் செயல்படு இலக்குகளில் ஒருமுகப்பட்டுப் படிந்து, நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுச்சேர்மங்கள் எளிதில் உண்டாகி விளைபொருட்கள் ஏற்படுவதைக் கீழ்க்கண்ட வரைபடம் புலம்படுத்துகிறது (படம்–88).

படம்–88



12.8. மைக்கேலிஸ்–மென்டென் கருத்துரு (Michaelis – Menten Concept)

இன்வெர்டேஸ் நொதியால், சுக்ரோஸ் நீராற்பகுப்புறுதலைப் படித்தறிந்ததன் வாயிலாக, நொதிக்கும் அதன் தளப்பொருளுக்கும் உள்ள உறவுப்பாங்கை வெளிப்படுத்தும் கருத்துரு ஒன்றை இந்த இரு அறிஞர்களும் வெளியிட்டனர். இதுவே மைக்கேலிஸ்–மென்டென் கருத்துரு எனப்படுகிறது. கீழ்க்கண்ட ஊகங்களின் அடிப்படையில் இதனை வெளியிட்டனர்.

i) சுக்ரோசின் நீராற்பகுப்பு, ஒரு நொதி ஒரு தளப்பொருள் பங்காற்றும் செயலாக உள்ளது.
ii) இச்செயல் முற்றுப்பெறும் இலக்கை நோக்கிச் செல்லக் கூடியது.
iii) தளப்பொருளின் செறிவு நொதியின் அளவை விட மிக உயர்வாக உள்ளது.
iv) இச்செயலில் நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுச்சேர்மம் இடைப் பொருளாக உருவாகிறது.
v) நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுச் சேர்மத்தின் அளவும், சிதையும் தளப்பொருளின் அளவும் நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் அமைந்துள்ளன.

கீழ்க்கண்ட விளக்கங்களின் மூலம், இக்கருத்துருவை வெளிப்படுத்த உதவும் சமன்பாடு ஒன்றை இவர்கள் கண்டறிந்தனர்.

நொதி (E), முதலில் தளப்பொருளுடன் (S) நலிந்த பிணைப்பினால் இணைந்து நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுச் சேர்மம் (ES) ஒன்று உண்டாகிறது. இச்சேர்மம் நீராற்பகுப்புச் செயலால் சிதைவுற்று, விளைபொருட்களும் (P), தனித்து விடப்பட்ட நொதிகளும் தோன்றுகின்றன.

இவ்வினையில் பங்குகொள்ளும் தளப்பொருளின் செறிவு, உருவாகும் நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுச் சேர்மங்களின் செறிவு, ஆகியவற்றை அளந்தறிதல் மிகக் கடினமாகும். எனவே சோதனைகளின் அடிப்படையில் எளிதில் அளந்தறியக் கூடிய அளவுகளைக் கொண்டு, இந்த அளந்தறிய முடியா அளவுகளை இடப்பெயர்வு செய்வதற்கு ஏற்ற ஒரு சமன்பாட்டை இவர்கள் உருவாக்கியுள்ளனர். இச்சமன்பாட்டின் மூலத்தை கீழ்க்கண்டவாறு வருவிக்கலாம். இதற்குக் கீழ்க்கண்ட பொதுக் குறியீடுகளைத் தெரிந்து கொள்ளுதல் மிக அவசியமாகும்:

(E_t) = நொதியின் மொத்தச் செறிவு

(S) = தளப்பொருளின் மொத்தச் செறிவு

(ES) = நொதி-தளப்பொருள் கூட்டுச் சேர்மத்தின் மொத்தச் செறிவு

$(E_t c\ ES)$ = தனித்து விடப்பட்ட நொதிகளின் செறிவு

விளைபொருட்களின் உருவாக்க வீதம் வினையின் வேகம் (V) எனப்படுகிறது. இது நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுச் சேர்மத்தின் செறிவிற்கு நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் உள்ளது. இதைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

$$V = k \times (ES) \quad \ldots\ldots (1)$$

அனைத்து நொதிகளும் (E_t) தளப்பொருளுடன் இணைந்துள்ள நிலையில் வினை வீதம் உச்ச நிலையில் (V_m) உள்ளது. அத்தருணத்தில் தளப்பொருள்–நொதி கூட்டுச் சேர்மத்தின் (ES) உயர் அளவுச் செறிவு நொதியின் மொத்த அளவிற்குச் (E_t) சமமாக இருக்கும். எனவே

$$V_m = k \times (E_t) \quad \ldots\ldots (2)$$

முதல் சமன்பாட்டை இரண்டாவதால் வகுக்கும் போது கிடைப்பது.

$$V/V_m = (ES)/(E_t) \quad \ldots\ldots (3)$$

சோதனையின் போது வினை வேகத்தைக் கணக்கிட்டு, இந்தச் சமன்பாட்டின் உதவியுடன், அளந்தறிய இயலாத ES, E_t ஆகியவற்றைக் கணக்கிட முடியும்.

தொடக்கத்தில் கொடுக்கப்பட்ட E + S c ES என்ற மீள் வினையை எடுத்துக் கொண்டு, சமநிலை மாறிலியான K_m–ஐ கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

$$K_m = \frac{\{(E_t) \text{®} (ES)\} X (S)}{(ES)} = \frac{(E_t) X (S) \text{®} (ES) X (S)}{(ES)} \quad \ldots\ldots\ldots(4) \text{ அல்லது}$$

$$(ES) X K_m = (E_t) X (S) \text{ ® } (ES) X (S) \quad \text{அல்லது}$$

$$(ES) X K_m + (ES) X (S) = (E_t) X (S) \quad \text{அல்லது}$$

$$(ES) X \{K_m + (S)\} = (E_t) X (S) \quad \text{அல்லது}$$

$$\frac{(ES)}{(E_t)} = \frac{(S)}{K_m + (S)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

சமன்பாடு 3–இல் உள்ள அளவீடான $(ES)/(E_t)$ - யினை சமன்பாடு 5-இல் பதிலீடு செய்தால் கிடைப்பது

$$\frac{V}{V_m} = \frac{(S)}{K_m + (S)} \quad \text{அல்லது}$$

$$V = \frac{V_m \; X \; (S)}{K_m + (S)} \quad \text{அல்லது}$$

$$K_m = (S) \left\{ \frac{V_m}{V} \right\} - 1 \quad \text{---}(6)$$

சமநிலைமாறிலியான K_m–ஐ கணக்கிட உதவும் சமன்பாடு 6, மைக்கேலிஸ்–மென்டென் சமன்பாடு எனப்படுகிறது. வெவ்வேறு தளப்பொருள் செறிவுகளில் வினைகளின் வேகத்தைச் சோதனைகள் மூலம் கண்டறிந்து பின்னர் இச்சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி K_m–ஐ நாம் கணக்கிடலாம்.

தளப்பொருளுடன் நொதி பெற்றிருக்கும் உறவுப்பாங்கினை இந்தச் சமநிலை மாறிலி குறிக்கிறது. நொதி–தளப்பொருள் கூட்டுச் சேர்மங்களின் அளவு அதிகரிக்குமாயின், தனித்து விடப்பட்ட நொதிகளின் அளவு குறைவாக இருப்பதுடன், வினையின் K_m–அளவும் குறைவாக இருக்கும் என்ற உறவுப்பாங்கை மெய்ப்பிக்க இச்சமன்பாடு உதவுகிறது.

12.9. நொதிகளின் வகைப்பாடு (Classification of Enzymes)

12.9.1. தொன்மைக் கால வகைப்பாடு:

இவ்வகைப்பாட்டில், நொதிகள் நீராற்பகுப்புறுத்தும் நொதிகள் (hydrolysing enzymes), டெஸ்மோலைசிங் நொதிகள் (Desmolyzing enzymes) என இரு பெரும் தொகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன. அவை ஒவ்வொன்றிலும் பல துணைத் தொகுதிகள் வைக்கப்பட்டு கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

அ) நீராற்பகுப்புறுத்தும் நொதிகள்: இவையாவும் தளப்பொருள் மூலக்கூறுகளை நீராற்பகுப்படையச் செய்யும் நொதிகளாகும். இதில் வரும் நொதித் தொகுப்புகள் பின்வருமாறு

i) கார்போஹைட்ரேஸ்கள்: கார்போஹைட்ரேட்டுகளை நீராற் பகுக்கும் நொதிகளான இவற்றிற்கு இன்வெர்டேஸ் என்ற சுக்ரேஸ், மால்டேஸ், அமைலேஸ், லாக்டேஸ், செல்லுலேஸ் ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

ii) எஸ்டெரேஸ்கள்: கொழுப்புப் பொருட்களை நீராற்பகுப்புறச் செய்யும், இவற்றிற்கு எளிய கொழுப்புகளைச் சிதைக்கும் லைபேஸ், ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமில எஸ்டெர்களைச் சிதைக்கும் ஃபாஸ்ஃபடேஸ் ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

iii) ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்கள்: தளப்பொருட்களை நீராற்பகுப்புறச் செய்து தோன்றும் விளைபொருட்களில் ஒன்றை ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடையச் செய்யும் நொதிகள் இவைகளாகும். சுக்ரோஸ் ஃபாஸ்ஃபடேஸ் இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும்.

iv) புரதச்சிதைவு நொதிகள்: இவை புரதங்களையும் அவற்றின் வருவிய பொருட்களையும் நீராற்பகுப்புறச் செய்யும் நொதிகளாகும். புரதங்களின் மேல் செயல்படும் பெப்சின், பாலிபெப்டைடு மேல் செயல்படும் பெப்டிடேஸ்கள் ஆகியவை இவற்றிற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

v) அமைடேஸ்கள்: அமைடு சேர்மங்களை நீராற் பகுப்புறச் செய்யும் இவற்றிற்கு யூரியேஸ், அஸ்பார்ஜினேஸ் ஆகியவை எடுத்துக் காட்டுகளாகும்.

(ஆ) டெஸ்மோலைசிங் நொதிகள்:

அவை கார்பன் சங்கிலியை தூண்டிக்கும், நீட்சியடையச் செய்யும், அணுக்களை அல்லது வேதித் தொகுப்புகளைச் சேர்க்கும் அல்லது நீக்கும், மூலக்கூறுகளுக்கிடையே இடம் மாற்றும் நொதிகள் ஆகும். கீழ்க்கண்டவாறு இவை வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

i) டெஸ்மோலேஸ்கள்: இவை கார்பன் சங்கிலியைத் துண்டித்து தளப்பொருட்களை உடைக்கும் நொதிகள். (எ.கா) ஆல்டோலேஸ்.

ii) டிஹைட்ரோஜினேஸ்கள்: இவை ஹைட்ரஜன் அணுக்களை நீக்கி (ஆக்ஸிகரணம்) அல்லது சேர்த்து (குறைத்தல்), ஆக்ஸிகரண– குறைத்தல் வினைகளில் பங்கு கொள்ளும் நொதிகளாகும்.

செல்சுவாசச் செயலில் பங்கு கொள்ளும் பல்வேறு டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதிகள் இவற்றிற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

iii)டிரான்ஸ்ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்கள்: இவை தளப்பொருளிலிருந்து ஃபாஸ்ஃபேட்டை ADP–க்கும், ATP–யிலிருந்து தளப்பொருளுக்கும் இடம்மாற்றும் நொதிகள் ஆகும்.

iv) ஹைட்ரேஸ்கள்: இவை நீரை நீக்கும் அல்லது சேர்க்கும் நொதிகளாகும். அக்கோனிடேஸ், ஃபியூமரேஸ், இனோலேஸ் ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

v) டிரான்ஸாமினேஸ்கள்: இவை அமினோ தொகுப்பை, ஒரு அமினோ அமிலத்திலிருந்து (தளப்பொருள் 1) மற்றொரு கீட்டோ அமிலத்திற்கு (தளப்பொருள் 2) மாற்றி தளப்பொருள் அமினோ அமிலத்தை, அதை உருவாக்கிய கீட்டோ அமிலமாகவும் தளப்பொருள் கீட்டோ அமிலத்தைப் புதிய அமினோ அமிலமாகவும் மாற்றும் நொதிகளாகும்.

vi) கார்பாக்சிலேஸ்கள்: CO_2-வை நீக்கும், அல்லது சேர்க்கும் நொதிகள் இவைகளாகும். பைரூவிக் கார்பாக்சிலேஸ், RuBP-கார்பாக்சிலேஸ் ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

vii) ஆக்சிடேஸ்கள்: இவை எலக்ட்ரான்களை நீக்க உதவும் நொதிகள் ஆகும். சைட்டோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸ், H_2O_2 உள்ள நிலையில் தளப்பொருளை ஆக்ஸிஜன் ஏற்றமடையச் செய்யும் பெராக்சிடேஸ்கள், ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடை ஆக்ஸிஜன் ஏற்றமடையச் செய்யும் காடலேஸ்கள் ஆகியவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

2. தற்கால வகைப்பாடு

இது நொதிகளுக்கான அகில உலக உயிர்வேதிய கழகத்தின் பொறுப்புக் குழு 1961இல் பரிந்துரைத்துள்ள வகைப்பாடு ஆகும். இதன் முக்கியமான சிறப்பியல்புகள் பின்வருமாறு:

i) தெரியவந்துள்ள நொதிகள் யாவும் ஆறு முதன்மை வகுப்புகளாகத் தொகுக்கப்பட்டுள்ளன.

ii) ஒவ்வொரு முதன்மை வகுப்பும் துணை வகுப்புகளாகவும், துணை–துணை வகுப்புகளாகவும் பிரிக்கப்படுகின்றன.

iii)ஒவ்வொரு நொதியும் நான்கு எண்கள் கொண்ட சங்கேதமாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. இதில் வரும் முதல் எண் முதன்மை வகுப்பையும், இரண்டாம், மூன்றாம் எண்கள் முறையே துணை வகுப்பையும், துணை–துணை வகுப்பையும், இறுதியில் வரும் எண், நொதியின் முறைப்படுத்தப்பட்ட பெயரையும் குறிக்கின்றன. முறைப்படுத்தப்பட்ட பெயரின் முதல் பகுதி நொதி வினையாற்றும் தளப்பொருளின் பெயரையும், இரண்டாம் பகுதி நொதியாற்றும் வினையின் பெயரையும் குறிப்பதாக உள்ளன.

ஆக்ஸிடேரிடக்டடேஸ்கள், டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ்கள், ஹைட்ரோலேஸ்கள், லையேஸ்கள், ஐசோமெரேஸ்கள், லைகேஸ்கள்

ஆகிய ஆறும், இவ்வகைப்பாட்டில் வரும் ஆறு முதன்மை வகுப்புகளாகும்.

ஆல்கஃஹால் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற பழைய பெயர் இவ்வகைப்பாட்டில் **1.1.1.1.** என்ற சங்கேதமாகத் தரப்பட்டுள்ளது. இதில் முதல் எண், முதன்மை வகுப்பான ஆக்ஸிடோரிடக்டேசைக் குறிக்கிறது. தளப்பொருளின் CH.OH தொகுப்பின் மேல் செயல்படும் நொதி இது என்பதை இரண்டாவதாக வரும் எண் குறிக்கிறது. மூன்றாவதாக வரும் எண், இந்நொதி பிரிடைன் நியூக்ளியோடைடுகள் (NAD, NADP) சார்ந்து செயல்படுகின்றன என்பதைக் குறிக்கிறது. நான்காவதாக வரும் எண் இதன் முறைபாட்டுப் பெயரான ஆல்கஹால் NAD:ஆக்சிடோரிடக்டேஸ் என்பதைக் குறிக்கிறது. இவற்றில் ஆல்கஹால் NAD என்பது தளப்பொருளையும், ஆக்சிடோ ரிடக்டேஸ் என்பது, அது ஆற்றும் பணியையும் குறிப்பதாக உள்ளன. இந்த விதமாக, பல்வேறு பழைய பெயர்கள் நான்கு எண்களிடப்பட்ட சங்கேதக் குறிகளாகத் தற்கால வகைப்பாட்டில், மாற்றபட்டுள்ளன.

13. கொழுப்புகள் (Lipids)

13.1. பொதுப்பண்புகள்

இவை இயற்கையில் காணப்படும் வழுவழுப்பான, நீரில் கரையா கரிம உயிர் மூலக்கூறுகள் ஆகும். முனைமையற்ற (Non-polar) கரைப்பான்களாகிய, குளோரோஃபார்ம், பென்சீன், ஈதர், ஹெக்சேன், மெத்தனால் போன்ற கரைப்பான்களைக் கொண்டு இவற்றை வடிசாறாக செல்களிலிருந்து தனித்து பிரித்தெடுக்கலாம்.

கார்போஹைட்ரோட்டுகளைப் போல இவைகளும் C,H,O ஆகிய அணுக்களை முதன்மை அணுக்களாகப் பெற்றுள்ளன; ஆனால் அவற்றில் உள்ளது போல் 1:2:1 என்ற விகிதத்தில் காணப்படுவதில்லை. மாறாக, எண்ணிக்கையில் மிகக் குறைவான ஆக்சிஜன்களையும், மிக அதிகமான கார்பன் அணுக்களையும் இவை பெற்றுள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக பால்மிட்டின் (Palmitin) என்ற கொழுப்பு ஆறு ஆக்சிஜன் அணுக்களையும் 51 கார்பன் அணுக்களையும் பெற்றுள்ளது. ($C_{51}H_{98}O_6$)

இவை கீழ்க்கண்ட உயிரிய முக்கியத்துவங்களைப் பெற்றுள்ளன:

1. கார்போஹைட்ரேட்டுகளை விட இவை அதிக ஆற்றலையும், வெப்ப வெளிப்பாட்டையும் பெற்றுள்ளன. எனவே மனித உணவில் முக்கியப் பகுதிப்பொருட்களாகத் திகழ்கின்றன. இவை உணவாக எடுத்துக் கொள்ளும் போது உடலுக்குத் தேவையான இன்றியமையாக் கொழுப்பு அமிலங்களைத் தந்து உதவுகின்றன.
2. கொழுப்பு அமிலங்கள் சிலவற்றின் சிதைவினால் உண்டாகும் விளைபொருட்கள் உயிரிய முக்கியத்துவம் வாய்ந்த கொலஸ்ட்ரால், பால் தன்மைக்குரிய ஹார்மோன்கள், ஸ்டீராய்டுகள் போன்ற சேர்மங்களைக் கட்ட உதவுகின்றன.
3. விலங்கினங்களின் தோலுக்கு அடியில் படியும் கொழுப்பு, வெப்ப அரிதில் கடத்திப் படிவமாகச் செயல்பட்டு, அவற்றை மிகை வெப்பம், குளிர் போன்றவற்றிலிருந்து பாதுகாக்கிறது.
4. இவை உணவில் முக்கியப்பகுதிக் கூறாகத் திகழும், கொழுப்பில் கரையும் வைட்டமின்களான A,D,E,K ஆகியவை எளிதில் கிடைக்க இவை உதவுகின்றன.

13.2. வேதிப்பண்புகள்

கொழுப்பு அமிலங்கள், அசைல் கிளிசெரால்கள், ஃபாஸ்ஃபோ அசைல்கிளிசெரால்கள், மெழுகுச் சேர்மங்கள், பிளாஸ்மலோஜென்கள் (Plasmalogens), ஸ்ஃகிங்கோலிப்பிடுகள், எய்கோசனாய்டுகள் (eicosanoids), டெர்பீன்கள் (terpenes), ஸ்டீராய்டுகள் (steroids), என்ற

வேதி அமைப்பிலும் பணியிலும் வேறுபட்ட சேர்மங்களாக கொழுப்புகள் திகழ்கின்றன.

13.2.1. கொழுப்பு அமிலங்கள்

கொழுப்பின் வேறுபட்ட சேர்மங்களில் டெர்பீன்கள், ஸ்டீராய்டுகள் தவிர பிற அனைத்தும் கொழுப்பு அமிலங்களையோ அல்லது அவற்றின் வருவிய சேர்மத்தையோ பெற்றுள்ளன. எனவே, கொழுப்பு அமிலங்கள் மிக முக்கியமான கொழுப்புச் சேர்மமாகும். கார்பாக்சிலிக் அமிலங்களாக திகழும் இவை கீழ்க்கண்ட சிறப்பியல்புகளைப் பெற்றுள்ளன:

பொதுவாக **12–க்கும் 20–க்கும்** இடைப்பட்ட (C12-C20) எண்ணிக்கையாலான நீண்ட வால் போன்ற ஹைட்ரோகார்பன் சங்கிலிகளாக இவை காணப்படுகின்றன. சங்கிலியின் ஒரு முடிவு முனையில் கார்பாக்சிலிக் அமிலத் தொகுப்புக் காணப்படுகிறது. இது சங்கிலியின் முதல் கார்பனாகும். கிளைத்த, வட்டச் சங்கிலியாக அமைந்த, ஒற்றைப்படை எண்ணிக்கையிலான கார்பன்களைப் பெற்ற கொழுப்பு அமிலங்கள் சிலவும் காணப்படுகின்றன. இவை குறிப்பாக நுண்ணுயிரிகளில் உள்ளன.

கொழுப்பு அமிலங்கள் இரட்டைச் சகப்பிணைப்புகளற்ற செறிவு நிலை அமிலங்களாகவோ (saturated acids) அல்லது ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட இரட்டைச் சகப்பிணைப்பு களைப் பெற்ற செறிவுநிலை எட்டாத அமிலங்களாகவோ (unsaturated acids) விளங்குகின்றன. பல இரட்டைச் சகப்பிணைப்புகள் இருப்பின், அவை அருகமைந்த இணைப் பிணைப்புகளாக இல்லாமல் மூன்று கார்பன் வரிசைகள் தள்ளி அமைந்த பிணைப்புகளாக உள்ளன.

செறிவு நிலை அமிலங்களின் பொது வாய்பாடு CH3-$(CH_2)_n$-COOH என்பதாகும். செல்களில் உயிர்ச் செயலுக்கு உகந்த pH நிலையில் இவை அயனிகளாகக் காணப்பட்டு 'ஏட்' (-ate) என்ற பின்னொட்டுச் சேர்த்துப் பெயரிடப்படுகின்றன. **12–20** கார்பன்களைப் பெற்ற சில முக்கிய கொழுப்பு அமிலங்களின் பொதுப்பெயர், வகைப்பாட்டியல் பெயர் ஆகியவை பின்வருமாறு:

பொதுப் பெயர் (அயனி நிலையில்)	*முறைபாட்டுப் பெயர்	வாய்பாடு	சுருக்க குறியீடு
1.லாரேட் (laurate)	n-டோடெகனோயேட் (n-dodecanoate)	$CH_3(CH_2)_{10}COO^-$	12:0
2.மிரிஸ்டேட் (myristate)	n-டெட்ராடெகனோயேட் (n-tetradecanotate)	$CH_3(CH_2)_{12}COO^-$	14:0
3.பால்மிடேட் (palmitate)	n-ஹக்சாடெகனோயேட் (n-hexadecanoate)	$CH_3(CH_2)_{14}COO^-$	16:0
4.ஸ்டீரேட்	n-ஆக்டா டெகனோயேட்	$CH_3(CH_2)_{16}COO^-$	18:0

(stearate)	n-octadecanoate		
5.அராகிடேட் (arachidate)	n-எய்கோசனோயேட் n-eicosanoate	$CH_3(CH_2)_{18}\ COO^-$	20:0

*ஆங்கிலத்தில் வரும் முறைப்பாட்டுப் பெயரில் அனைத்துச் செறிவு நிலை அமிலங்களும் 'an' என்ற அசைச் சொல்லைப் பெற்றிருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

அட்டவணையில் 12:0-என்பதில் 'O'-ஆனது இரட்டைச் சகப்பிணைப்பு இல்லாதிருப்பதைக் குறிக்கிறது.

செறிவுநிலை எட்டாத அமிலங்களில் இரட்டைச் சகப்பிணைப்புகள் வெவ்வேறு இலக்குகளில் காணப்படுவதால் அவற்றை ஒரு பொது வகைப்பாட்டின் மூலம் குறிக்க இயலாது. இவற்றில் சில முக்கியக் கொழுப்பு அமிலங்களின் பொதுப் பெயர்களும் முறைப்பாட்டுப்பெயர்களும் பின்வருமாறு:

பொதுப்பெயர்	*முறைபாட்டுப் பெயர்/வாய்பாடு	சுருக்கக் குறியீடு
1. பால்மிடோலியேட் (Palmitoleate)	சிஸ்-9-ஹக்சாடெகினோயேட் (cis-9-hexadecenoate) $CH_3\ (CH_2)_5\ CH{=}CH(CH_2)_7COO^-$	$16{:}1^{f\,9}$
2. ஒலிலேட் (Oleate)	சிஸ்-9-ஆக்டாடெகினோயேட் (cis-9-octadecenoate) $CH_3\ (CH_2)_7\ CH{=}CH(CH_2)_7COO^-$	$18{:}1^{f\,9}$
3. லினோலிலேட் (Linoleate)	சிஸ்-9,12-ஆக்டாடெகினோயேட் (cis-9,12- Octadecenoate) $CH_3(CH_2)_4\ (CH{=}CHCH_2)_2(CH_2)_6COO^-$	$18{:}2^{f\,9,12}$
4. லினோலினேட் (Linolenate)	சிஸ்-9,12,15-ஆக்டாடெகினோயேட் (cis-9,12,15- Octadecenoate) $CH_3(CH_2)(CH{=}CHCH_2)_3(CH_2)_6COO^-$	$18{:}3^{f\,9,12,15}$
5. அராகிடோனேட் (Arachidonate)	சிஸ்-5,8,11,14-எய்கோசாடெட்ராமினோயேட் (cis-5,8,11,1412- Eicosatetraenoate) $CH_3(CH_2)_4\ (CH{=}CHCH_2)_4(CH_2)_2COO^-$	$20{:}4^{f\,5,8,11,14}$

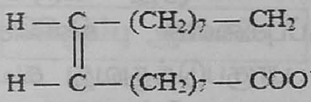
*ஆங்கிலத்தில் வரும் முறைப்பாட்டுப் பெயரில் அனைத்துச் செறிவுநிலை எட்டாத கொழுப்பு அமிலங்களும் 'en' என்ற அசைச்சொல்லைப் பெற்றிருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

அட்டவணையில் $f^{9,12}$ என்பது, ஒன்பதாவது, பத்தாவது கார்பன்களுக்கிடையேயும்,12–ஆவது, 3–ஆவது கார்பன்களுக்கிடையேயும் இரட்டைச் சகப்பிணைப்புகள் இருப்பதைக் குறிக்கின்றன.

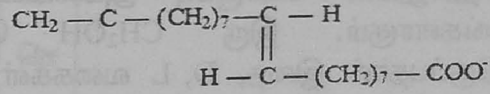
செறிவுநிலை எட்டாத கொழுப்பு அமிலங்களின் இரட்டைச் சகப்பிணைப்பு இலக்குகளில் உறுதியான வளைவுகள் நிகழ்ந்து அவற்றில் குறிப்பிட்ட ஒழுங்கமைவுகள் ஏற்படுகின்றன. இதனால் 'சிஸ்', 'டிரான்ஸ்' என இருவகை மாற்றியங்கள் தோன்றுகின்றன. இயற்கையில்

காணப்படும் பெரும்பாலான செறிவு நிலை எட்டாத கொழுப்பு அமிலங்கள் 'சிஸ்' வகை அமிலங்களாக உள்ளன. ஒரு சில மட்டுமே டிரான்ஸ் வகைகளாக உள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக 18 கார்பன்களையும், இரட்டைச் சகப்பிணைப்பு ஒன்றையும் பெற்ற சிஸ்–ஒலியேட், டிரான்ஸ் அமைவில் இலாடியேட் எனப்படுகிறது (படம்-89).

படம் –89



ஒலியேட் (சிஸ் வகை)

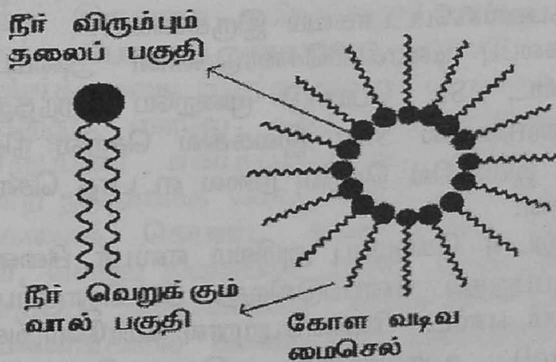


இலாடியேட் (டிரான்ஸ் வகை)

கொழுப்பு அமிலங்களின் கார்பாக்சினேட் (COO^-) தொகுப்புகள் நீரில் கரையும் தன்மை கொண்டவை; இருப்பினும் அவற்றில் உள்ள நீண்ட ஹைட்ரோகார்பன் சங்கிலிகள், நீரை விலக்கி, நீர் வெறுக்கும் தன்மையை ஏற்படுத்துகின்றன. எனவே, நீரில் கரையா மூலக்கூறுகளாக மாறிவிடுகின்றன. இருப்பினும், நீர் விரும்பும் (COO^- தொகுப்பு) நீர் வெறுக்கும் (ஹைட்ரோகார்பன் சங்கிலி) ஆகிய இரு தொகுப்புகளும் இருப்பதால் இவை இருநிலை (amphipathic) மூலக்கூறுகள் எனப்படுகின்றன.

நீர் போன்ற முனைவுத் தன்மை கொண்ட கரைப்பானில் கொழுப்பு அமிலங்கள் கோள வடிவ மைசெல்களாகத் (micelles) திரள்கின்றன. இவ்வமிலங்களின் ஹைட்ரோகார்பன் சங்கிலிகள் கோளத்தின் உட்புறம் நோக்கியவாறும், கார்பாக்சிலேட் தொகுப்புகள் கோளத்தின் பரப்பை நோக்கியவாறும் அமைந்திருக்கின்றன (படம்–90).

படம்-90



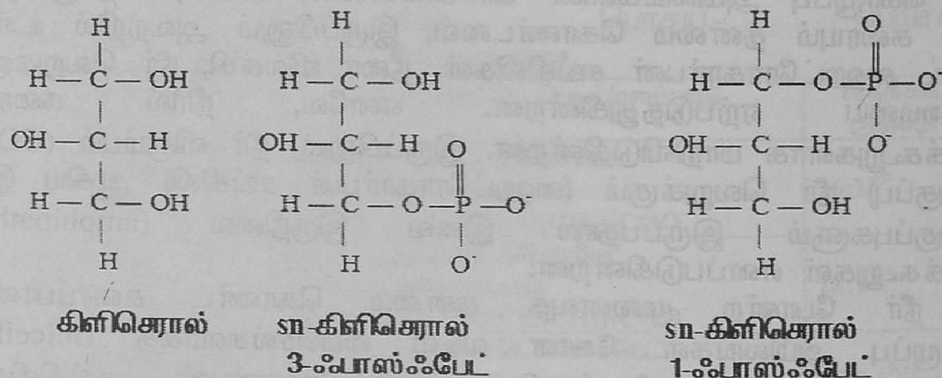
ஒவ்வொரு மைசெல்லிலும் உள்ள கொழுப்பு அமிலங்களின் ஹைட்ரோகார்பன் சங்கிலிகளுக்கிடையே வான் டெர் வால்ஸ் விசை (Van der Waals' force) என்ற, சகப்பிணைப்பற்ற ஈர்ப்பு விசை

ஏற்படுவதால் அதன் கோள உரு அமைப்பு நிலைப்படுகிறது. மைசெல் ஒன்றை அமைக்கும் கொழுப்பு அமிலங்களின் செறிவுநிலை அளவு அதிகரிக்கும் போது அதன் பாய்மத் தன்மையும் அதிகரிக்கிறது.

13.2.2. அசைல்கிளிசெரால்கள் (Acylglycerols)

கிளிசெரைடுகள் எனப்படும் இவை, கிளிசெரால் என்ற ஆல்கஹாலுடன் கொழுப்பு அமிலங்கள் பிணைப்புற்று உருவாகும் சேர்மங்களாகும். இரு CH_2OH தொகுப்புகளைக் கிளிசெரால் பெற்றிருப்பதால் இதை, D, L வகைகள் என பாகுபடுத்துவது கடினம். எனவே புறவெளிக் குறியீட்டு எண் இடும் முறையில் 'Sn' என்ற முன்னொட்டுச் சேர்த்து பெயரிடப்படுகின்றன (படம்–91).

படம்–91

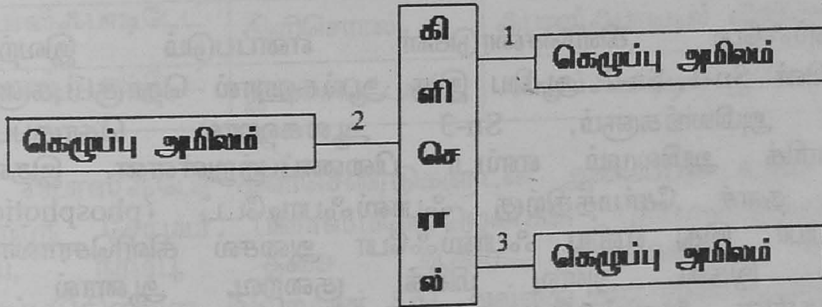


படத்தில் Sn-கிளிசெரால் 3–ஃபாஸ்ஃபேட், L-கிளிசெரால் 3-ஃபாஸ்ஃபேட்டாகவும் இருக்கலாம், D-கிளிசெரால் 1-ஃபாஸ்ஃபேட்டாகவும் இருக்கலாம். அதே போல், Sn-கிளிசெரால் 1-ஃபாஸ்ஃபேட், L-கிளிசெரால் 1-ஃபாஸ்ஃபேட்டாகவும் இருக்கலாம், D-கிளிசெரால் 3-ஃபாஸ்ஃபேட்டாகவும் இருக்கலாம்.

எனவே, கலப்பு டிரைகிளிசெரைடுகளின் அமைப்பை விளக்கும் விதத்தில் பெயரிட, 'Sn' பெயரிடு முறையே சிறந்தது. பொதுவாகக் கலப்பு கிளிசெரைடுகளில் Sn-1 இலக்கில் செறிவு நிலைக் கொழுப்பு அமிலமும், Sn-2 இலக்கில் செறிவு நிலை எட்டாத கொழுப்பு அமிலமும் காணப்படுகின்றன.

கிளிசெராலுடன் கொழுப்பு அமிலம் எஸ்டர் பிணைப்புறும் செயல் அசைல் தொகுப்புறுதல் எனப்படுகிறது. OH-தொகுப்புடன் ஒரே ஒரு கொழுப்பு அமிலம் எஸ்டர் பிணைப்புற்றால் மோனோஅசைல்கிளிசெரால் (monoacylglycerol) உருவாகிறது. இரு கொழுப்பு அமிலங்கள் பிணையுற்றிருந்தால் டைஅசைல்கிளிசேராலம், மூன்று பிணையுற்றிருந்தால் டிரைஅசைல்கிளிசெராலும் உருவாகின்றன (படம்–92).

படம்–92



(1,2,3 = எஸ்டர் பிணைப்புகள்)

டிரைஅசைல்கிளிசெரால் (டிரைகிளிசெரைடு)

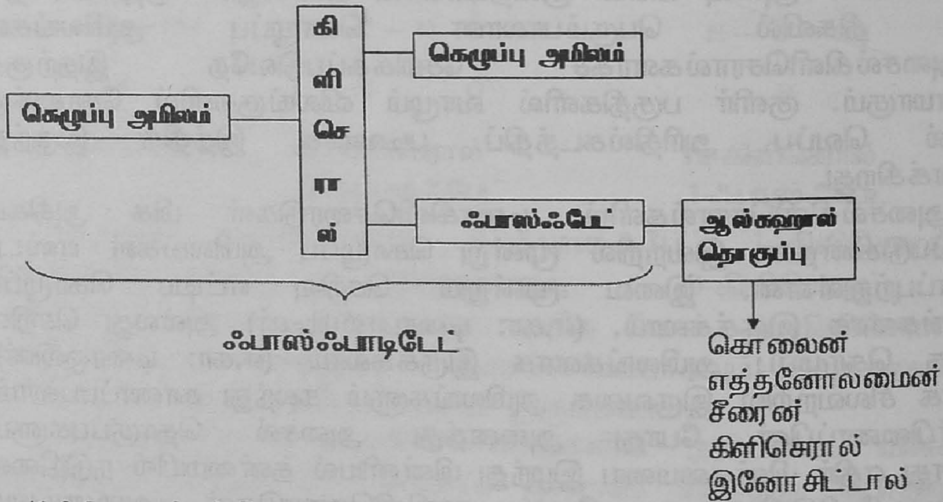
பொதுவாகத் திசுக்களில் தனித்துக் காணப்படும் கொழுப்பு அமிலங்களின் அளவு மிகக் குறைவாகவே உள்ளது. அடிபோஸ்திசு என்ற திசுவில் பெரும்பாலான கொழுப்பு அமிலங்கள் டிரைஅசைல்கிளிசெரால்களாகச் சேமிக்கப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். குளிர் பகுதிகளில் வாழும் விலங்குகளில் தோலுக்கு அடியில் வெப்ப அரிதில்கடத்திப் படிவமாக இத்திசு இருந்து பாதுகாக்கிறது.

அசைல்கிளிசெரால்களில், டிரைகிளிசெரைடுகள் மிக அதிகம் காணப்படுகின்றன. இவற்றில் மூன்று கொழுப்பு அமிலங்கள் எஸ்டர் பிணைப்புற்றுள்ளன. இவை மூன்றும் செறிவு எட்டிய கொழுப்பு அமிலங்களாக இருக்கலாம். (எ.கா: டிரைபால்மிடின்) அல்லது செறிவு எட்டாத கொழுப்பு அமிலங்களாக இருக்கலாம் (எ.கா: டிரைஒலின்). அரிதாக சிலவற்றில் இருவகை அமிலங்களும் கலந்து காணப்படலாம். எஸ்டர்பிணைப்பின் போது அனைத்து அசைல் தொகுப்புகளும் தங்களது எதிர் மின்சுமையை இழந்து மின்னியல் தன்மையில் நடுநிலை அடைய நேரிடுகிறது. எனவே டிரைகிளிசெரைடுகள் அனைத்தும் நடுநிலைக் கொழுப்புகள் எனப்படுகின்றன. வெண்ணெய், ஆலிவ் எண்ணெய் போன்ற நடுநிலைக் கொழுப்புகள், கலப்பற்ற மற்றும் கலப்பு டிரைகிளிசெரைடுகளைக் கொண்ட கலவைகளாக உள்ளன. இவை சங்கிலியின் நீளம், செறிவு நிலையின் அளவு ஆகியவற்றில் வேறுபட்ட பலதரப்பட்ட கொழுப்பு அமிலங்களின் கலவையாக விளங்குகின்றன. பொதுவாக விலங்கினங்களில் காணப்படும் டிரைகிளிசெரைடுகள் மிக நீண்ட சங்கிலிகளால் ஆன செறிவு எட்டிய கொழுப்பு அமிலங்களைப் பெற்று, அறை வெப்பநிலையில் திடக் கொழுப்புகளாகத் திகழ்கின்றன. ஆனால் தாவரங்களில் உள்ள டிரைகிளிசெரைடுகள் அதிக அளவில் செறிவுஎட்டாத கொழுப்பு அமிலங்களைப் பெற்று, 20°C-யில் திரவ நிலையில் உள்ளன.

13.2.3. ஃபாஸ்ஃபோ அசைல் கிளிசெரால்கள்

ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசெரைடுகள் எனப்படும் இவற்றின் கிளிசெராலின் Sn-1, Sn-2 ஆகிய இரு ஆல்கஹால் தொகுப்புகளுடன் கொழுப்பு அமிலங்களும், Sn-3 ஆல்கஹால் தொகுப்புடன் ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலமும் எஸ்டர் பிணைப்புற்றுள்ளன. இதனால் தோன்றும் தளச் சேர்மத்திற்கு ஃபாஸ்ஃபாடிடேட் (phosphotidate) என்று பெயர். இது எளிய ஃபாஸ்ஃபோ அசைல் கிளிசெராலாகும். செல்களில் இதன் அளவு மிகக் குறைவு. ஆனால் இது செல்சவ்வுகளின் ஃபாஸ்ஃபோஅசைல்கிளிசெரால்களின் உற்பத்திக்கு உதவும் தளச் சேர்மமாகத் திகழ்கிறது (படம் –93).

படம் –93



ஃபாஸ்ஃபோ அசைல்கிளிசெரால்கள் (ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசெரைடுகள்)

இதன் ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலத்துடன், பல்வேறு ஆல்கஹால் சேர்மங்கள் எஸ்டர் பிணைப்பில் இணைந்து கீழ்க்கண்ட பல்வேறு முதன்மை ஃபாஸ்ஃபோஅசைல் கிளிசெரால்கள் தோன்றுகின்றன.

யூளச் சேர்மம்	இணையும் ஆல்கஹால்	தோன்றும் ஃபாஸ்ஃபோஅசில் கிளிசெரால்கள்
ஃபாஸ்ஃபாடிடேட்	கோலைன்	லெசித்தின் என்ற ஃபாஸ்ஃபாடிடில்கோலைன்
ஃபாஸ்ஃபாடிடேட்	எத்தனாலமைன்	செஃபாலின் என்ற ஃபாஸ்ஃபாடிடில்எத்தனாலமைன்

ஃபாஸ்ஃபாடிடேட்	சீரைன்	ஃபாஸ்ஃபாடிடில் சீரைன்
ஃபாஸ்ஃபாடிடேட்	கிளிசெரால்	ஃபாஸ்ஃபாடிடில் கிளிசெரால்
ஃபாஸ்ஃபாடிடேட்	இனோசிட்டால்	ஃபாஸ்ஃபாடிடில் இனோசிட்டால்

இந்த ஃபாஸ்ஃபோ கிளிசெரைடுகளுடன் அமைப்பில் உறவு கொண்ட மற்றொரு சேர்மம் பிளாஸ்மலோஜென்கள் (plasmalogens) ஆகும். இவை, நரம்பு, தசை ஆகிய செல்களின் சவ்வுகளில் காணப்படுகின்றன. இவற்றின் Sn1 அல்லது Sn2 இலக்குகளில் செறிவு எட்டாத கொழுப்பு அமிலங்களுக்கு பதிலாக ஈதர் பிணைப்பு காணப்படுவதும், Sn-3 இலக்கில் உள்ள ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலத்துடன் கோலைன், சீரைன், எத்தனாலமைன் ஆகிய ஆல்கஹால் சேர்மங்களில் ஒன்று எஸ்டர்பிணைப்புற்றுக் காணப்படுவதும் இவற்றின் சிறப்பியல்புகளாகும்.

13.2.4. மெழுகுகள் (Waxes)

கிளிசெரால் தவிர, உயர் எண்ணிக்கையில் கார்பன்களைப் பெற்ற பிற ஆல்கஹால்களுடன் கொழுப்பு அமிலங்கள் எஸ்டர் பிணைப்புற்று உருவாகும் சேர்மங்கள் மெழுகுகளாகும். சில குறிப்பிடத்தக்க மெழுகுச் சேர்மங்கள் பின்வருமாறு:

i) தேன்மெழுகு

இது தேன்கூட்டை அமைப்பதற்கு தேனீக்களால் (*ஏபிஸ் மெல்லிஃபெரா–Apis mellifera*) சுரக்கப்படும் மெழுகு ஆகும். வேதித்தன்மையில் ஹெக்சாகோசானில் பால்மேட் எனப்படும் இது 26 கார்பன்களைப் பெற்ற ஹெக்சாகோசனால் என்ற ஆல்கஹாலுடன் பால்மிடின் எஸ்டர் பிணைப்புற்று உருவாகிறது.

ii) சீனமெழுகு

கோகஸ் செரிஃபெரஸ் (*Coccus ceriferus*) என்ற ஒருவகை பூச்சிகளால் சுரக்கப்படும் இம்மெழுகு, தோல் பொருட்களை மெருகேற்ற உதவும் பசைகள் தயாரிக்க, மெழுகுவர்த்திகள் தயாரிக்க சைனாவில் பயன்படுகிறது.

iii)திமிங்கில மெழுகு (Sperm whale wax)

இது *ஃபைசிடெர் மாக்ரோசெஃபாலஸ்* (*Physeter macrocephalus*) என்ற திமிலங்கிலத்தின் கொழுப்புத் திசுவிலிருந்து சுரந்து அதன் தலைப்பகுதியில் உள்ள குழியில் சேமிக்கப்படும் மெழுகு ஆகும். இது இங்கிலாந்து நாட்டில் மெழுகுவர்த்திகள், அழகு சாதனப் பொருட்கள் ஆகியவற்றைத் தயாரிக்க பெரிதும் பயன்படுகிறது.

iv) ஷெல்லாக் மெழுகு (Shellac wax)

இது *டேகார்டியா லாகா* (*Tachardia lacca*) என்ற ஒருவகை பூச்சிகளிலிருந்து சுரக்கப்படும் மெழுகு ஆகும். நம் நாட்டில் மரச்சாமன்களுக்கு மெருகேற்ற உதவும் வார்னிஷ்கள் தயாரிப்பிற்குப் பெரிதும் உதவுகிறது.

v) கம்பிளி மெழுகு (Wool wax)

இது லனோலின் எனப்படும் கம்பளி தரும் ஆடுகளின் செபபேசிய சுரப்பிகளிலிருந்து சுரக்கும் மெழுகுப் பொருளாகும். ஆட்டின் ரோமத்தைக் கம்பளிக்காகப் பக்குவப்படுத்தும் போது இது ஒரு தனிச் சேர்மமாகக் கிடைக்கிறது. அழகு சாதனப் பொருட்கள் தயாரித்தல், தோல் மருத்துவம், ஆடை மெருகேற்றல் போன்றவற்றிற்குப் பயன்படுகிறது.

vi) கார்னுபா மெழுகு (Carnauba wax)

இது பிரேசில் நாட்டின் பனை மரமான *கோபெர்னிசியா ப்ரூனிஃபெராசெரிப்பெரா* (*Copernicia pruniferacerifera*) என்ற மரத்திலிருந்து கிடைக்கும் மெழுகு ஆகும். தோல் பொருட்களை மெருகேற்ற உதவும் களிம்பு, உதட்டுச் சாயக் களிம்பு, அழகிற்கான தடவு களிம்புகள், உணவு மேற்பூச்சுக் களிம்புகள் போன்றவை தயாரிக்கப் பிரேசில் நாட்டில் பயன்படுகிறது.

13.2.5. ஸ்பிங்கோலிப்பிடுகள் (Spingolipids)

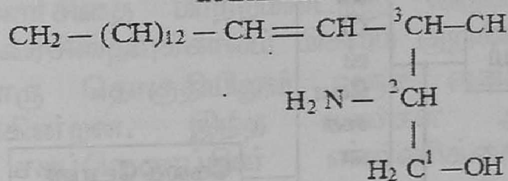
பாஸ்ஃபோகிளிசெரைடுகளை ஒத்த இவை, அவற்றிலிருந்து கீழ்க்கண்ட பண்புகளில் வேறுபடுகின்றன:

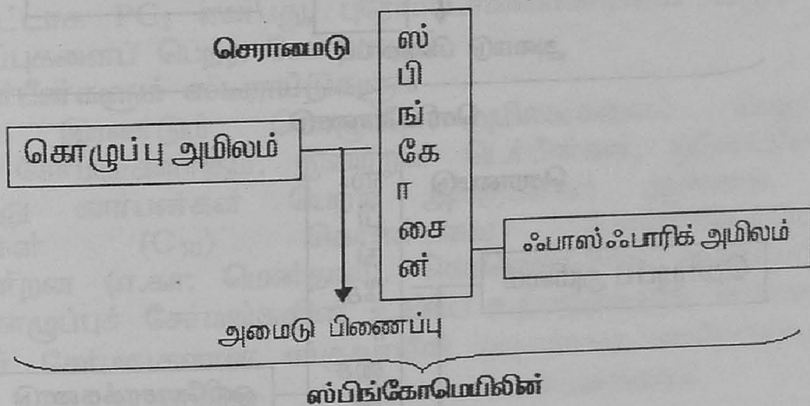
(i) கிளிசெராலுக்குப் பதிலாக ஸ்பிங்கோசைன் என்ற அமினோ ஆல்கஹால் காணப்படுதல்;

(ii) அமினோ ஆல்கஹாலுடன் கொழுப்பு அமிலம் அமைடு பிணைப்பினால் இணைந்து செராமைடு என்ற தாய்ச்சேர்மம் உருவாதல்;

(iii) தாய்ச் சேர்மத்துடன் ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலம் எஸ்டர் பிணைப்புற்று ஸ்பிங்கோமெயிலின் (spingomeylin) தோன்றுதல் (படம்–94).

படம் –94



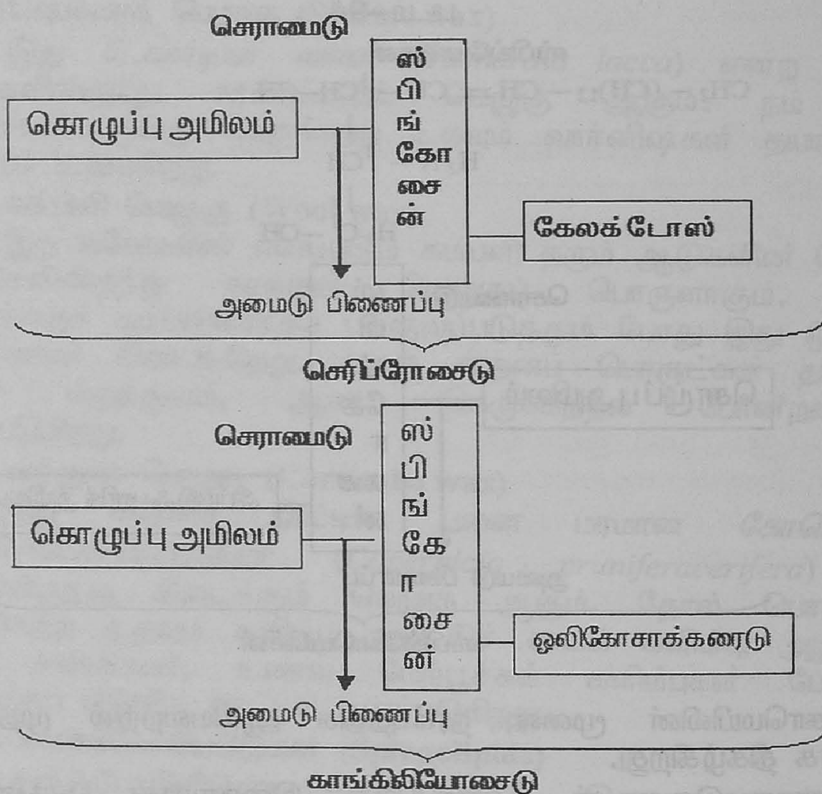


ஸ்பிங்கோமெயிலின் மூளை, நரம்புத்திசு ஆகியவற்றில் முதன்மைச் சேர்மமாக திகழ்கிறது.

செராமைடுகளுடன் ஃபாஸ்ஃபேட் இணையாது D-குளுகோஸ் அல்லது D-கேலக்டோஸ் இணைந்து உருவாகும் கொழுப்பு செரிபிரோசைடுகள் (cerebrosides) எனப்படுகின்றன. மூளைச்சவ்வுகளில் அதிகம் காணப்படும் இவை ஸ்பிங்கோகிளைகோலிப்பிடுகளாகும்.

செராமைடுகளுடன் சில சமயம் ஒலிகோசாக்கரைடுகள் கிளைகோசில் பிணைப்புற்றிருக்கலாம், இதனால் தோன்றும் கொழுப்புகள் காங்கிலியோசைடுகள் (gangliosides) எனப்படுகின்றன, மூளையின் நரம்பு முடிச்சுகளான காங்கிலியான்களில் இவை காணப்படுகின்றன (படம்– 95).

படம் –95



13.2.6. எய்கோசனாய்டுகள் (Eicosanoids)

இவை இரட்டைச் சகப்பிணைப்புகள் பல பெற்ற 20 கார்பன்களால் ஆன அபூரிதக் கொழுப்பு அமிலமான எய்கோசானிக் அமிலங்கள் ஆக்சிஜனேற்றமடைந்து உருவாகும் சேர்மங்கள் ஆகும்.

புரோஸ்டாகிளாண்டின்கள் (prostaglandins), திராம்பாக்சேன்கள் (thromboxanes), லியூகோடிரையீன்கள் (leukotrienes), லிபாக்சின்கள் (lipoxins) என நான்கு தொகுதிகளாக விளங்கும் இவற்றின் பொதுப்பண்புகள் பின்வருமாறு:

(i) உருவான செல்களுக்கு அருகிலேயே, செயலிடத்து ஹார்மோன்களாக இவை செயல்படுகின்றன.

(ii) மிகக் குறைந்த செறிவில் (10-9 mol l^{-1}) இவை செயல்படக் கூடியவை.

(iii) செல்பரப்பில் காணப்படும் தூண்டல் ஏற்பிகளுடன் பிணைந்து, செல்லினுள் உள்ள G-புரதம் அல்லது சைக்ளிக்-AMP ஆகியவற்றின் துணையுடன் செல் நிகழ்வுகளைத் தூண்டுகின்றன.

(iv) தனிச் சேர்மமாக இரத்த ஓட்ட மண்டலத்தில் விடப்படும் போது, மிக விரைவில் வளர்சிதை மாற்றமடைந்து விடும் தன்மை இருப்பதால் இவற்றின் அரைசிதைவுக்காலம் மிகவும் குறுகியது.

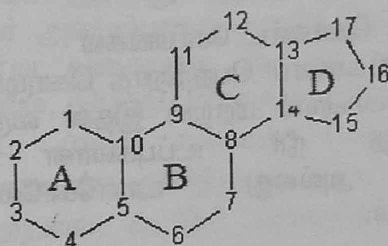
(v) ஒவ்வொரு தொகுதியிலும் வரும் வகைகள், எண்களிடப்பட்டு குறிப்பிடப்படுகின்றன. இந்த எண்கள் அவற்றில் காணப்படும் இரட்டைச் சகப்பிணைப்பின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக PG_2 என்பது, புரோஸ்டாகிளாண்டினில் வரும் இரு சகப்பிணைப்புகளைப் பெற்ற சேர்மமாகும்.

13.2.7. டெர்பீன்களும் ஸ்டீராய்டுகளும்

இவை இரண்டும் கொழுப்பு அமிலங்களைப் பெற்றிராத கொழுப்புச் சேர்மங்களாகும். இவற்றுள் டெர்பீன்கள், ஐசோபிரீன்கள் என்ற ஐந்து கார்பன்கள் பெற்ற அலகுகளால் ஆனவை. இரு ஐசோபிரீன்கள் (C_{10}) கொண்டவை மோனோடெர்பீன்கள் எனப்படுகின்றன (எ.கா: மென்தால்), கொலெஸ்டீரால், ஸ்டீராய்டுகள் போன்ற கொழுப்புச் சேர்மங்களின் உயிரிய உற்பத்திக்குத் தேவையான முன்னோடிச் சேர்மங்களான ஸ்குவாலீன் (squalene), லானோஸ்டீரால் (lanosterol) ஆகியவை 30 கார்பன்களால் ஆன டிரைடெர்பீன்கள்களாகும்.

பிக்கோமோல் (10^{-12} mol l^{-1}) அளவில் வியத்தகு செயல்களைச் செய்யும் ஸ்டீராய்டு சேர்மங்கள் A,B,C,D என்ற நான்கு ஒட்டிய ஹைட்ரோகார்பன் வளையங்களால் ஆனவை. இவற்றுள் A,B,C ஆகியவை சைக்ளோஹெக்சேன் வளையங்களாகவும், D-வளையம் சைக்ளோபெண்டேன் வளையமாகவும் உள்ளன (படம்-96)

படம்-96



ஸ்டீராய்டு சேர்மம் ஒன்றின் தனிப்பட்ட பண்புகள், இந்த வளையத் தொகுப்புடன் பதிலீடு செய்யப்பட்டிருக்கும் தொகுப்புகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு திர்மானிக்கப்படுகின்றன. குறிப்பாக, எந்தச் செல் உள் ஏற்பி மூலக்கூறுகளுடன் இவை சேர்ந்துசெயல்பட வேண்டும் என்பதைத் தீர்மானிக்கிறது.

ஆல்கஹால் தொகுப்பைப் பெற்ற ஸ்டீராய்டு சேர்மம் கொலஸ்டீரால் எனப்படுகிறது. மனிதர்களின் ஸ்டீராய்டு ஹார்மோன்களான ஆண்ட்ரோ ஜென்கள் (androgens) என்ற

ஆண்பாலுக்குரிய ஹார்மோன்கள், எஸ்ட்ரோஜன் (oestrogen), புரோஜெஸ்டீரோன் (progesterone) போன்ற பெண்பாலுக்குரிய ஹார்மோன்கள், கார்டிசால் (cortisol), ஆல்டோஸ்டீரோன் (aldosterone) என்ற அட்ரீனல் சுரப்பி ஹார்மோன்கள், பித்த நீர் உப்புக்களான கிளைகோகோலேட்டுகள் போன்ற அனைத்தும் ஸ்டீராய்டுகளாகும்.

13.3. கொழுப்புகளின் வகைப்பாடு

புளோர் (Bloor) என்பவர் கொழுப்புகளைக் கீழ்க்கண்ட நான்கு வகைகளாக வகைப்படுத்தியுள்ளார்.

i) எளிய கொழுப்புகள் (Simple lipids)

கொழுப்பு அமிலங்கள் ஆல்கஹாலுடன் எஸ்டர் பிணைப்புற்று தோன்றும் கொழுப்புகள் இவைகளாகும். ஆல்கஹால் கிளிசெராலாக இருப்பின் அவை அசைல்கிளிசெரால்கள் அல்லது கிளிசெரைடுகள் என்றும், கிளிசெரால் தவிர பிற ஆல்கஹாலாக இருப்பின் அவை மெழுகுகள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

ii) கூட்டுக் கொழுப்புகள் (Compound lipids)

கிளிசெரால், கொழுப்பு அமிலங்கள் தவிர வேறு சில வேதித்தொகுப்புகளும் இணைந்திருப்பின் அவை கூட்டுக் கொழுப்புகள் எனப்படுகின்றன. ஃபாஸ்ஃபோலிப்பிடுகள், கிளைகோலிப்பிடுகள், சல்ஃபோலிப்பிடுகள், லிப்போபுரதங்கள் ஆகியவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

iii)வருவிய கொழுப்புகள்

கொழுப்புகள், குறிப்பாக எளிய கொழுப்புகள் லைபேஸ் என்ற நொதியால் நீராற்பகுப்புற்று உருவாகும் கொழுப்பு அமிலங்கள் வருவிய கொழுப்புகளாகும்.

iv)கொழுப்புடன் உறவு கொண்ட சேர்மங்கள்

கொழுப்பு அமிலங்களைப் பெற்றிறாத கொழுப்பு ஒத்த சேர்மங்கள் இவைகளாகும். கொலஸ்டீரால் மற்றும் இதன் வருவிய பொருட்களான ஸ்டீராய்டுகள், பித்த நீர் உப்புகளான சோடியம் பெற்ற கிளைகோகோலேட் அல்லது டாராகோலேட்டுகள் இதற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

14. வெப்ப இயக்கவியலின் தத்துவங்கள் (Principles of Thermodynamics)

வெப்ப இயக்கவியலின் அடிப்படைத் தத்துவங்களில் இருந்துதான் உயிர்ம ஆற்றலியல் கல்வியின் தொடக்கம் அமைந்துள்ளது.

ஓர் அமைப்பின் நான்கு முக்கியப் பண்புகளான அழுத்தம், கொள்ளளவு, வெப்பநிலை, அமைப்பிலுள்ள பொருளின் வேதிக்கூறுகள் போன்றவற்றின் அடிப்படையில் அதன் செயல்பாடு எவ்வாறுள்ளது என்பதை விளக்க முற்படும் அறிவியலே வெப்ப இயக்கவியலாகும். எனவே, ஓர் அமைப்பின் இந்த நான்கு பண்புகளும் வெப்பவியக்கவியல் சார் பண்புகள் எனப்படுகின்றன.

வெப்ப இயக்கவியல் தத்துவங்களை அறிந்து கொள்வதற்கு முன்பு, அமைப்பின் வகைகளையும், அவற்றின் செயல், ஆற்றல் ஆகியவற்றைப் பற்றியும் தெரிந்துகொள்ளுதல் மிகவும் இன்றியமையாததாகும்.

14.1. அமைப்பும் அமைப்பின் வகைகளும் (System and its types)

நாம் பகுப்பாய்வு செய்ய நினைக்கும் எந்த ஒரு பகுதியையும் அமைப்பு என எடுத்துக் கொள்ளலாம். எடுத்துக் காட்டாக ஒரு கலனில் நிரப்பப்பட்டிருக்கும் வளி, ஓர் அமைப்பாகும். புவி முழுவதையுமே கூட ஒரு அமைப்பாகக் கருதலாம். உயிரினங்களைப் பொறுத்தமட்டில் ஒரு முழு உயிரினத்தையோ அதன் ஓர் உறுப்பினையோ, உறுப்பினை அமைக்கும் திசுவினையோ, திசுவை அமைக்கும் செல்லினையோ, செல்லினுள் உள்ள செல் நுண் உள்ளுறுப்பு ஒன்றையோ அல்லது அதில் நிகழும் குறிப்பிட்ட வேதி வினையையோ நாம் ஓர் அமைப்பாகக் கருதிக்கொள்ளலாம்.

பொதுவாக மூன்று வகையான அமைப்புகள் உள்ளன. சுற்றுச் சூழலிருந்து ஆற்றலையும், பொருட்களையும் பரிமாறிக் கொள்ளும் ஓர் அமைப்பு திறவமைப்பு (open system) எனப்படுகிறது. எதையும் பறிமாறிக்கொள்ளாத அமைப்பு தனித்து விடப்பட்ட அமைப்பு (isolated system) என்றும் ஆற்றலை மட்டும் பரிமாறிக்கொள்ளும் அமைப்பு மூடிய அமைப்பு (closed system) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. உயிரினங்களைப் பொறுத்த மட்டில் திறவமைப்புகளே உள்ளன.

14.2. வெப்ப இயக்கவியலில் வேலையும், ஆற்றலும் (Work and Energy in Thermodynamics)

14.2.1. வேலை

விசை (force), விசையின் திசையில் விசை செயல்படும் புள்ளி நகர்ந்த தூரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கம் வேலை எனப்படுகிறது. இவற்றுள் விசை என்பது பொருண்மை (mass), முடுக்கம் (acceleration) ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் ஆகும். ஓர் அமைப்பு வேலை செய்தால், வெப்ப இயக்கவியலில் அவ்வேலை நேர் குறியினால் (+) குறிக்கப்படுகிறது. இதற்கு மாறாக ஒரு அமைப்பின் மீது வேலை நிகழ்த்தப்பட்டால் அவ்வேலை எதிர் குறியினால் (-) குறிக்கப்படுகிறது.

14.2.2. ஆற்றல்

ஒவ்வோர் அமைப்பும் வேலை செய்வதற்கான ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. ஆற்றல் என்பது வேலையாக மாற்றப்படக் கூடியது அல்லது வேலையிலிருந்து உருவாகக் கூடியது. இது, எந்திர ஆற்றல் (mechanical energy), அக ஆற்றல் (internal energy), வேதி ஆற்றல் (chemical energy), மின் காந்த ஆற்றல் (electromagnetic energy), நிலை ஆற்றல் (potential energy), இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy), மின் ஆற்றல் (electrical energy), வெப்ப ஆற்றல் (heat energy) என பலவகைப்படுகிறது.

வெப்ப இயக்கவியலில் வெப்ப ஆற்றல் அதிக முக்கியத்துவம் பெறுகிறது. பிற ஆற்றல்களைப் போல், வெப்ப ஆற்றலும் வேலையிலிருந்து உருவாகலாம் அல்லது வெப்பத்தைக் கொண்டு ஒரு வேலையைச் செய்யலாம். ஆனால் பிற ஆற்றல்களிலிருந்து இது வேறுபட்டுள்ளது. பிற ஆற்றல்களை முழுதும் வேலையாக மாற்றலாம். ஆனால் வெப்பம் முழுவதையும் வேலையாக மாற்ற இயலாது. அத்துடன் வெப்பஆற்றல் ஓர் இடப்பெயர்வு ஆற்றல் என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது.

14.2.3. அமைப்பின் அக ஆற்றலும், கட்டுறா ஆற்றலும் (Internal energy and Free energy of a System)

பல மூலக்கூறுகள் அடங்கிய ஓர் அமைப்பில் காணப்படும் மொத்த ஆற்றல் அதன் அக ஆற்றல் அல்லது உள்ளார்ந்த ஆற்றல் எனப்படுகிறது. அமைப்பில் உள்ள முழு மூலக்கூறுகள் அல்லது அவற்றை அமைக்கும் அணுக்களின் எலக்ட்ரான்கள், நியூக்ளிய கூறுகள் ஆகியவற்றின் இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy), இயல்திறன் ஆற்றல் (potential energy) இவை இரண்டின் கூட்டுத் தொகையே அந்த அமைப்பின் அக ஆற்றல் எனப்படுகிறது.

அணுவின் உட்கருவைச் சுற்றி அவற்றின் எலக்ட்ரான்கள் வலம் வர, எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலே காரணமாக உள்ளது. மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் அவற்றின் இடப்பெயர்வால் அல்லது ஓர் அச்சில் அவை சுழல்வதால் அல்லது மூலக்கூறை அமைக்கும் அணுக்கள் அலைவதால் ஏற்படுகிறது.

அணுவின் எலக்ட்ரான்களுக்கும் உட்கருவிற்கும் இடையே உள்ள மின்னியக்கச் செயல் விளைவால் உருவாவது, எலக்ட்ரான்களின் இயல்திறன் ஆற்றலாகும். மூலக்கூறுகளின் இயல்திறன் ஆற்றல் அவற்றில் உள்ள பல்வேறு அணுக்களின் எலக்ட்ரான்களுக்கிடையேயும் உட்கருக்களுக்கிடையேயும் உள்ள மின்னியக்கச் செயல் விளைவால் ஏற்படுகிறது. இந்த இயல்திறன் ஆற்றலே பிணை ஆற்றல் எனப்படுகிறது. வேதி வினைகளின் போது ஏற்படும் ஆற்றல் மாற்றங்கள் இந்தப் பிணை ஆற்றலுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது. இதுவே வேதியாற்றல் எனப்படுகிறது.

ஓர் அமைப்பில் வேலையை நிகழ்த்த, அதன் மொத்த அக ஆற்றலில், இயக்க ஆற்றலை விட இயல்திறன் ஆற்றலே அதிகப் பங்காற்றுகிறது. வேலை நிகழ இயக்க ஆற்றல் உதவுவதில்லை. இவ்வாறு செயல் நிகழ்விற்காகப் பயன்படுத்தப்படும் இயல்திறன் ஆற்றல் கிப்ஸின் கட்டுறா ஆற்றல் (Gibb's free energy) எனப்படுகிறது.

14.3. வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதி

ஓர் அமைப்பிலிருந்து வெப்பம் வெளியேறினால் அதன் அகஆற்றல் குறையும். வெப்பம் புகுந்தால் அக ஆற்றல் அதிகரிக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, நீர் கொண்ட மூடிய கலன் ஒன்றினை வெப்பப்படுத்தினால் அதனுள் வெப்ப ஆற்றல் செலுத்தப்படுகிறது. அதாவது சுற்றுப் புறத்திலிருந்து ஆற்றல் உட்செல்லுகிறது. ஆனால், அந்த வெப்ப ஆற்றலால் நீர் ஆவியாகி, உண்டாகும் ஆவி மூலக்கூறுகள் புறச் சூழலுக்கு வர முடிவதில்லை. இது போல் பொருட்கள் எதையும் பரிமாறாமல் ஆற்றலை மட்டும் பரிமாற்றிக் கொள்ளும் அமைப்பிற்கு மூடிய அமைப்பு என்று பெயர். இங்கு வெப்ப ஆற்றல் நீர் மூலக்கூறுகளின் இயல்திறன் ஆற்றலை (potential energy) உயர்த்தப் பயன்படுகிறது. அதாவது குளிர்ந்த நீரை விடச் சூடேற்றப்பட்ட நீரின் நீர் இயல்திறன் அதிகரிக்கிறது. எனவே, சுற்றுப்புறத்திலிருந்து எவ்வளவு ஆற்றல் (வெப்ப ஆற்றல்) அமைப்பினுள் செல்கிறதோ அதே அளவு மறறோா் ஆற்றல் (இயல்திறன் ஆற்றல்) அமைப்பினுள் தோன்றி அமைப்பின் அக ஆற்றல் அதிகரிக்கிறது. இதைக் கருத்தில் கொண்டு வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதியை நாம் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்:

"ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றாக மாற்றப்படக் கூடிய ஆற்றலின் பல படிமங்களில், ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள ஆற்றல் ஒன்று மறையும் போது அதற்குச் சமமான மற்றொன்று தோன்றுகிறது".

இதிலிருந்து, ஆற்றலை அழிக்கவும், ஆக்கவும் முடியாது என்பது தெளிவாகிறது. எனவே, வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதி "ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி" என அழைக்கப்படுகிறது.

14.4. வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதி

சுற்றுச் சூழலுடன் சமநிலையில் இருக்கும் ஓர் அமைப்புத் தனக்கென்று ஓர் உள்ளாற்றலைக் கொண்டுள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட சமநிலையில் ஓர் குறிப்பிட்ட அக ஆற்றல் இருக்கும். ஒவ்வொரு சமநிலையும் வெப்பம், அழுத்தம், செறிவு போன்ற பல காரணிகளால் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. ஓர் அமைப்பானது முதல் சமநிலையில் E1 என்ற உள்ளாற்றலைப் பெற்றிருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த அக ஆற்றலின் உண்மையான அளவினைத் துல்லியமாக மதிப்பிட முடியாது. ஆனால் அந்த அமைப்பில் சில மாற்றங்கள் ஏற்படும் போது அக ஆற்றலில் ஏற்படும் மாற்றங்களை அளக்க முடியும். எடுத்துக்காட்டாக E_1 என்ற அக ஆற்றலைப் பெற்ற ஓர் அமைப்பிற்குச் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து 'Q' அளவு ஆற்றல் அளிக்கப்படுகிறது. இதனால் அது அடுத்த சமநிலைக்குச் செல்கிறது. இந்த நிலையில் அதன் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை E_2 எனக் கொள்வோம். இவ்வாறு முதல் நிலையிலிருந்து இரண்டாம் சமநிலைக்கு மாறும் பொழுது அத்தொகுதி ஏதோ ஒரு வேலை செய்யுமானால் E_2-E_1 = Q-W. இதில் Q என்பது சூழ்நிலையிலிருந்து அமைப்பு எடுத்துக் கொண்ட ஆற்றல்; W என்பது வேலை செய்ய அமைப்புச் செலவழித்த ஆற்றல். அமைப்பின் இரு சமநிலைகளில் ஏற்பட்ட உள்ளாற்றல் மாறுபாடான E_2-E_1, fE எனக் குறிக்கப்படுகிறது. எனவே fE = Q − W. அதாவது அமைப்பிற்குச் சூழலிலிருந்து அளிக்கப்பட்ட ஆற்றலிலிருந்து அது ஆற்றிய வேலைக்காக எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட ஆற்றல் போக எஞ்சிய அளவு ஆற்றலே, இரு சமநிலைகளில் ஏற்பட்ட அக ஆற்றல் மாறுபாடாகும். சூழலிலிருந்து அளிக்கப்பட்ட ஆற்றல் முழுவதும் செயலாக மாற்றப்பட்டு விட்டால் fE சுழியாக இருக்கும்.

$$Q \longrightarrow \boxed{E_2 - E_1 = Q - W} \longrightarrow W$$

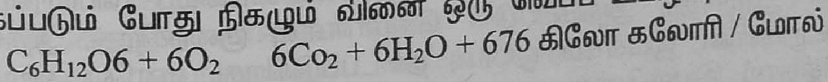
ஓர் அமைப்பின் ஆற்றல் அளவு, அளிக்கப்படும் அழுத்தம், வெப்பநிலை ஆகியவற்றிற்கு ஏற்ப வேறுபடுகிறது. இவ்விரு காரணிகளும் நிலையாக இருக்கும் போது ஒரு அமைப்பில் காணப்படும் வெப்ப ஆற்றலுக்கு என்தால்பி (enthalpy) என்று பெயர். இது H என அழைக்கப்படுகிறது. இது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$H = E + PV$$

இதில் E என்பது அமைப்பின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலாகும். P என்பது அழுத்தம். V என்பது கொள்ளளவு.

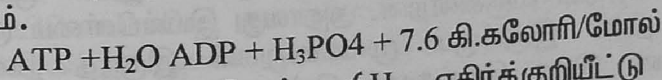
அழுத்தம் நிலையாக இருக்கும் போது சுற்றுப்புறத்திலிருந்து ஓர் அமைப்பிற்கு வெப்பம் அளிக்கப்படும் போது, அந்த வெப்பம் முழுவதும் வேலையாக மாற்றப்படுமேயானால் அவ்வமைப்பின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் நிலையாக இருக்கும். ஆனால் இந்த நிலை எந்த அமைப்பிலும் காணப்படுவதில்லை எடுத்துக்காட்டாக, உந்துதண்டு (piston) இணைக்கப்பட்ட நீர் கொண்ட கலன், ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தையும் கொள்ளளவையும் பெற்றுள்ளது. இது வெப்பப்படுத்தப்படும் போது உட்செலுத்தப்படும் வெப்ப ஆற்றல் முழுவதும் நீரின் கொதித்தல் செயலுக்குப் பயன்படுத்தப்படுவதில்லை. அந்த அமைப்பில் சில மாற்றங்கள் நிகழ்வதே இதற்குக் காரணமாகும். அழுத்தக் குறைவும் கொள்ளளவு அதிகரிப்பும் இந்த மாற்றங்களாகும். இவ்வாறு முழு வெப்பமும் வேலையாக மாற்றப்படாமையால் அத்தொகுப்பின் அக ஆற்றல் அளவில் மாற்றம் நிகழ்கிறது. இவ்வாறு ஏற்படும் அக ஆற்றல் மாற்றமானது (fE) அதன் என்தால்பி மாற்றத்திற்குச் (fH) சமமாகும்.

ஒரு வேதிவினையின் என்தால்பி மாறுபாடானது அவ்வினை நிகழும் போது உள்ளேற்கப்படும் அல்லது இழக்கப்படும் வெப்பத்தினைச் சார்ந்தது. வெப்பம் உள்ளேற்கப்படுமானால் அவ்வினைக்கு வெப்பம் ஏற்கும் (endothermic) வினை என்றும், வெப்பம் இழக்கப்படுமேயானால் அவ்வினைக்கு வெப்பம் உமிழும் (exothermic) வினை என்றும் பெயர். இதன் அடிப்படையில் fH ஆனது முறையே நேர்குறியீட்டு மதிப்பையும், எதிர்குறியீட்டு மதிப்பையும் கொண்டிருக்கும். எடுத்துகாட்டாக ஒரு வேதிச் சேர்மம் (குளூகோஸ்) வேதி ஆக்ஸிகரணச் செயல் மூலம் எரிக்கப்படும் போது நிகழும் வினை ஒரு வெப்ப உமிழ்வு வினையாகும்.



$$C_6H_{12}O6 + 6O_2 \quad 6Co_2 + 6H_2O + 676 \text{ கிலோ கலோரி / மோல்}$$

இதேபோல் ATP நீராற்பகுப்படையும் நிகழ்ச்சியும் ஒரு வெப்ப உமிழ்வு வினையாகும்.



$$ATP + H_2O \; ADP + H_3PO4 + 7.6 \text{ கி.கலோரி/மோல்}$$

இவ்விரு வினைகளிலும் fH எதிர்க்குறியீட்டு மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும். காரணம் இவ்வினைகளின் போது அமைப்பிலிருந்து வெப்பம், அதாவது ஆற்றல் வெளிவிடப்படுகிறது. இந்த ஆற்றல், அமைப்பில் உள்ள வினைபடு பொருள்களாகிய குளூகோஸ் மற்றும் ATP-களில் பிணையாற்றலாக மறைந்திருந்த இயல்திறன் ஆற்றலாகும் (potential energy). வெப்ப வெளிப்பாட்டிற்குப் பின் தோன்றும் விளைபொருட்களின் இயல்திறன் ஆற்றல் வினைபடு பொருள்களின் இயல் திறன் ஆற்றலைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். ஆனால்

விளைபொருட்களின் மூலக்கூறுகளில் உள்ள அணுப்பிணைப்பு, வினைபடு பொருட்களில் உள்ள பிணைப்பை விட வலிமை பெற்றவை. எனவே, இவை நிலையான மூலக்கூறுகளாக உள்ளன.

தாவரங்களில் நிகழும் ஒளிச்சேர்க்கைச் செயல், ஆற்றல் உட்கொள்ளும் செயலாகும். இங்கு ஒளி ஆற்றல் வேதியாற்றலாக மாற்றப்பட்டு, உருவாக்கப்படும் குளுகோஸ் மூலக்கூறுகளில் இயல்திறன் ஆற்றலாகச் சேமிக்கப்படுகிறது. ஆனால் முழு ஒளி ஆற்றலும் இதற்காகப் பயன்படுவதில்லை. ஒளியாற்றலில் ஒரு பகுதி வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும்.

மேலே கூறப்பட்ட கருத்துக்கள் அனைத்தையும் ஆதாரமாகக் கொண்டு வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதியை நாம் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறை செய்யலாம். "சுற்றுப்புறத்திலிருந்து ஆற்றல் அளிக்கப்படும் போது அமைப்பின் சில பகுதிகளில் மாற்றம் எதுவும் ஏற்படுவதைத் தடுக்க இயலாது. எனவே முழு ஆற்றலையும் செயலாக மாற்ற இயலாது".

"எந்த ஆற்றல் மாற்றச் செயலின்போதும் ஒரளவு ஆற்றல் வெப்பமாக சுற்றுப்புறத்தினுள் விடப்படுகிறது".

14.5 வெப்ப இயக்கவியலின் மூன்றாவது விதி

வெப்ப இயக்கவியலின் மூன்றாம் விதி என்ட்ரோபி (entropy) யுடன் தொடர்பு கொண்டது. ஓர் அமைப்பிலிருக்கும் இயல்பின்மையே (randomness) என்ட்ரோபி எனப்படுகிறது. குறைந்த அழுத்தத்தில் உள்ள வளியை எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்வோம். இதிலுள்ள மூலக்கூறுகள் தங்கு தடையின்றி அனைத்துத் திசைகளிலும் இயங்குகின்றன. அதாவது அதிக இயல்பின்மையைப் பெற்றுள்ளன. வளியின் அழுத்தம் அதிகரிப்பின் கொள்ளளவு குறைகிறது. அதனால் மூலக்கூறுகளின் இயக்கம் ஒரளவு தடைப்படுகிறது. எனவே அழுத்தம் அதிகரித்தால் இயல்பின்மை குறையும். அதாவது என்ட்ரோபி குறையும்.

நீராவி குளிர்ந்து நீராகும் பொழுது மூலக்கூறுகள் முன்பை விட அதிக நெருக்கத்தில் வருகின்றன. அதாவது இயல்பின்மை குறைகிறது. இருப்பினும் நீரில் இருக்கும் மூலக்கூறுகள் இருந்த நிலையிலேயே அதிர் கின்றன. இந்த இயக்கமும் இல்லாது செய்ய வேண்டுமானால் வெப்ப நிலையைக் குறைக்க வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக 0°K (கெல்வின்) அதாவது–273°C வெப்பநிலையில் மூலக்கூறுகளின் இயல்பின்மை சிறுமமாகிறது. இந்த வெப்பநிலைக்குத் தனி வெப்பநிலை என்று பெயர் (absolute temperature).

சுற்றுப்புறத்திலிருந்து ஆற்றல் அளிக்கப்படாத நிலையிலும் ஓர் அமைப்பில் ஏதேனும் ஒரு செயல் நிகழுமேயானால் அதற்குத் தன்னிச்சை செயல் (spontaneous process) என்று பெயர். இச்செயல்

சமநிலையை நோக்கி நகர்வதுடன், அதன் அமைப்பில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் இயல்பின்மை அதிகரிக்கிறது. எனவே என்ட்ரோபி அதிகரிக்கிறது.

எடுத்துக்காட்டாக ஓர் அமைப்புத் தனித்து விடப்பட்ட அமைப்பாக இருந்து, சமநிலை அற்றதாக இருப்பின், அது படிப்படியாகச் சமநிலையை நோக்கித் தன்னிச்சையாக நகர்கிறது. ஆனால் அதனுள் என்ட்ரோபி அதிகரிக்கிறது. இவ்வமைப்பு ஆற்றலை மட்டும் பரிமாற்றிக் கொள்ளும் ஒரு மூடிய அமைப்பாக இருந்து அங்கு தன்னிச்சை செயல் நிகழ்ந்தால், அவ்வமைப்புச் சமநிலையை நோக்கிச் செல்லும் போது, அமைப்பு மற்றும் சுற்றுப்புறத்தின் மொத்த என்ட்ரோபி உயர்கிறது. சில மூடிய அமைப்புகளில் தன்னிச்சை செயல் நிகழ்ந்து, அவை சமநிலையை நோக்கிச் செல்லும் போது அவற்றின் என்ட்ரோபி குறைய நேரிடலாம். ஆனால், அதே சமயம் சூழ்நிலையில் என்ட்ரோபி அதிகரிப்பு அதிகமாக இருக்கும். அதாவது தன்னிச்சை செயல் தொடங்குவதற்கு முன், அமைப்பு, புறச்சூழல் இவை இரண்டிலும் இருந்த மொத்த என்ட்ரோபி அளவைவிடச் செயல் முடிந்து சமநிலை அடைந்தவுடன் இவை இரண்டின் மொத்த என்ட்ரோபி அளவு அதிகமாக இருக்கும். எனவே, மொத்தத்தில் என்ட்ரோபி உயர்வு நிச்சயம் இருக்கும்.

உயிரினங்கள் யாவும் திறவுற்ற அமைப்புகளாக உள்ளன. அதாவது சுற்றுப்புறத்துடன் ஆற்றல் மற்றும் பொருட்கள் ஆகிய இரண்டையும் பரிமாற்றிக் கொள்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக பசுந்தாவரங்கள் கதிர்வீச்சு ஆற்றலையும், CO_2-வையும் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து எடுத்துக் கொண்டு, வளிமண்டலத்தினுள் O_2–வை வெளிவிடுகின்றன. பச்சையமற்ற உயிரினங்கள் உணவையும், O_2 வையும் எடுத்துக் கொண்டு வளிமண்டலத்தினுள் CO_2–வை வெளிவிடுகின்றன. எனவே சூரிய ஆற்றலையும், உணவில் உள்ள இயல்திறன் ஆற்றலையும் பயன்படுத்திக் கொண்டு உயிரின அமைப்புகள் பல தன்னிச்சையற்ற வினைகளைச் செய்து. அதிக சீரான அமைப்புடைய வேதியல் சேர்மங்களை உருவாக்கிக் கொள்கின்றன. எனவே, உயிரினங்களில் என்ட்ரோபி அளவு குறையவே செய்கிறது. இதைக் கொண்டு, அவை வெப்ப இயக்கவியல் விதிக்குப் புறம்பாக செயல்படுவதாகக் கூற இயலாது. காரணம் அமைப்பினுள் என்ட்ரோபி குறைந்தாலும் சுற்றுப்புறத்தில் என்ட்ரோபி அதிகரிப்பு ஏற்படும். அத்துடன் அதிகரிப்பு அளவு, குறையும் அளவை விட அதிகமாகவே இருக்கும்.

மேற்கூறப்பட்ட கருத்துக்கள் அனைத்தையும் ஆதாரமாகக் கொண்டு வெப்ப இயக்கவியலின் மூன்றாவது விதியைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறை செய்யலாம்:

"எந்த ஓர் அமைப்பும் சுற்றுப்புறத்துடன் சேர்ந்து சீரற்ற நிலை அதிகமடைவதை நோக்கி தன்னிச்சையாகச் செல்ல முயற்சிக்கிறது. எனவே செயல் நிகழும் பொழுது என்ட்ரோபி உயர்வு நிகழ்கிறது. ஆனால் தனி வெப்பநிலையில் எந்த அமைப்பிலும் என்ட்ரோபி சுழியாக இருக்கும்.

15. உயிர் ஆற்றலியல்
(Bioenergetics)

உயிரினங்களில் ஆற்றல் நிலை மாற்றத்தை விளக்கும் ஓர் அறிவியல் பிரிவு இதுவாகும். உயிரினங்களின் முழு வளர்ச்சி, செயல்பாடு, நிலைப்பாடு ஆகியவற்றிற்கு ஆற்றல் மிகவும் தேவை. உயிரினங்களில் இந்த ஆற்றல் பெறப்படும் முறை, அவற்றின் பெரு மூலக்கூறுகளைக் கட்ட, உயிர்ச் செயல்களை நிகழ்த்த இந்த ஆற்றல் பயன்படுத்தப்படும் விதம் ஆகிய அனைத்தையும் இவ்வறிவியல் விளக்குகிறது. இந்தச் செயல்பாடுகள் யாவும், நன்கு ஒருங்கிணைக்கப்பட்ட பின்னல் வலைபோன்ற வேதிய வினைகளினால் நிகழ்த்தப்படுகிறது.

உயிரினங்களுக்குத் தேவைப்படும் இதற்கான ஆற்றல் சூரியனிலிருந்து கிடைக்கிறது. இவ்வொளி ஆற்றலைப் பசுந்தாவரங்கள் ஈர்த்து வேதியாற்றலாக மாற்றி, அவை தயாரிக்கும் உணவில் இயல்திறன் ஆற்றலாக சேமிக்கின்றன. அனைத்து உயிரினங்களுக்கும் இவ்வுணவு, அடிப்படை ஆற்றல் தரும் பொருளாகத் திகழ்கிறது. இந்த ஆற்றல், உயிரினங்களின் செல்சுவாசச் செயலில், உணவு ஆக்சிஜன் ஏற்றமடைந்து சிதைக்கப்படும் போது வெளிப்படுகிறது. இதில் ஒரு பகுதி மீண்டும் வேதிவடிவில், ஆனால் எளிதில் உடனடியாகக் கிடைக்கக் கூடிய விதத்தில் ATP-களில் சேமிக்கப்பட்டு, முடிவாக பல உயிர்ச்செயல்களை நிகழ்த்த தேவைப்படும் போது பயன்படுத்தப்படுகிறது. இங்கு ATP-கள் ஆற்றல் நாணயங்களாகச் செயல்படுகின்றன.

ஓர் உயிரினத்தின் அடிப்படைச் செயல் அலகாகத் திகழ்வது அதன் செல் ஆகும். உயிர்ப்பு உள்ளெடுப்பு மூலம் சவ்வின் இருபுறமும் செறிவு வாட்டச் சரிவு தோன்றுதல், சவ்வின் இருபுறமும் மின்னாற்றல் சமநிலை தோன்றுதல், சமநிலை திசைக்கு எதிரான திசை நோக்கி வேதி வினைகள் பெயர்ச்சியடைதல், உயர்மச் சேர்மங்களான புரதம், கொழுப்பு, உட்கரு அமிலம் முதலியவற்றின் உற்பத்திச் செயல், விலங்கினங்களில் தசைகளின் இயக்கம், நரம்புகளின் உணர்வலை, இயக்கஅலை ஆகியவற்றின் செயல்பாடு போன்ற அனைத்துச் செல் நிகழ்வுச் செயல்களும் இந்த உயிர்ம ஆற்றலின் உதவி கொண்டு நிகழும் உயிர்ச் செயல்களாகும். எனவே உயிரி ஆற்றலியலைச் செல் உயிர்மஆற்றலியல் (cell bioenergetics) எனக் குறிப்பிடலாம்.

வெப்பவியக்க முறையில் குறைந்த என்ட்ரோபி பெற்ற, நம்புதற்கரிய அமைப்புகளாக உயிரினங்கள் திகழ்கின்றன. இவற்றின் உயிருள்ள செல்கள் ஆற்றலை இடைவெளியின்றி பயன்படுத்துவதன் மூலம், என்ட்ரோபியை வெகுவாகக் குறைத்து, முறைப்படுத்தப்பட்ட அமைப்பையும், குறிப்பிட்ட செயல்களின் நிகழ்வுகளையும் தக்க வைத்துக் கொள்கின்றன. ஆற்றல் வரும் வழி நின்ற மாத்திரத்தில்,

இவை இயல்புத்தன்மை நீங்கிய நிலையை அடைந்து, சிதைந்து இறக்க நேரிடுகிறது.

ஆற்றலைப் பெறும் விதத்தின் அடிப்படையில் உயிரினங்கள் சுய ஊட்ட உயிரிகள் (autotrophs), மாற்று ஊட்ட உயிரிகள் (heterotophs). என்ற இரு பெருந்தொகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன. உயிர் வாழ்விற்குத் தேவையான ஆற்றல் சூரியனிலிருந்து நேரடியாக எடுத்துக் கொள்ளும், ஒளிச்சேர்க்கை செய்யும் பசுந்தாவரங்களே சுய ஊட்ட உயிரிகள் எனப்படுகின்றன. ஆனால், இவ்வாற்றலை உணவின் மூலம் பெறக்கூடிய உயிரிகள் (மனிதன் உட்பட அனைத்து விலங்கினங்கள், பெரும்பாலான பாக்டீரியங்கள், பூஞ்சைகள்) வேற்று ஊட்ட உயிரிகள் எனப்படுகின்றன. இவற்றில், ஆற்றலைப் பெற உதவும் எரிபொருளாக, இவற்றின் உணவுப் பொருட்களான கார்போஹைட்ரேட், கொழுப்பு, புரதங்கள் ஆகியவை திகழ்கின்றன. இவற்றை இவ்வுயிரிகள் செல்சுவாசச் செயல் என்ற உயிர் வேதிச்செயல் மூலம், வளி ஆக்சிஜனைப் பயன்படுத்தி, ஆக்சிஜனேற்றமடையச் செய்து அவற்றில் உள்ள ஆற்றலை விடுவித்துப் பயன்படுத்திக் கொள்கின்றன.

செல்லிற்கு வெளியே நிகழும் சில ஆற்றல் ஓட்டச் செயல்களையும் உயிர்ம ஆற்றலியல் பெற்றுள்ளது. உயிர் வேதிச் சூழலுக்கும், அருகில் வாழும் உயிரினங்களுக்கும் (தாவரங்கள், விலங்குகள் மற்றும் நுண் உயிரிகள்) இடையே நிகழும் ஆற்றல் ஓட்டமே, அதாவது சூழ்மண்டலத்தில் நிகழும் ஆற்றல் ஓட்டமே இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும்.

15.1. உயிரி ஆற்றலியலில் ATP

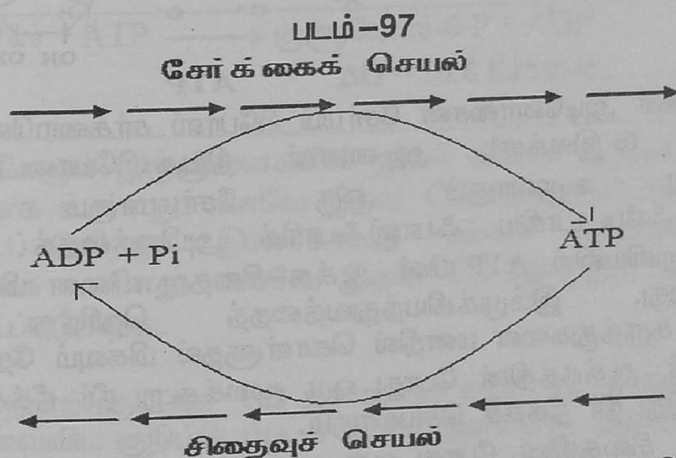
உயிரினங்களில், உயிர்வாழ்விற்குத் தேவையான கரிமச் சேர்மங்களின் உற்பத்திச் செயல் ஒவ்வொன்றும், ஆற்றலைப் பயன்படுத்திக் கொண்டு, ஒரே ஒரு நிலையில் நிகழ்ந்து விடுவதில்லை. மாறாக, மூலச் செயல்களை உள்ளடக்கிய பல்வேறு நிலைகளைக் கடந்த பின்னரே உருவாக்கப்படுகின்றன. இச்செயல்கள் யாவும், இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தம் கொண்ட சூழலில் மிகத் திறம்பட்ட முறையில் நிகழ்வதும் குறிப்பிடத்தக்கது. இச்செயல்கள் யாவும் சேர்க்கைச் செயல்கள் (anabolic processes) எனப்படுகின்றன.

இதே போல், ஆற்றலைப் பெறுவதற்காக கரிம உணவுப் பொருட்கள் ஆக்சிகரணிக்கப்படும் செயலும் ஒரே ஒரு நிலையில் நிகழ்ந்து விடுவதில்லை. படிப்படியாக பல நிலைகளைக் கடந்து, இறுதியில் நிலையான எளிய தனிமச் சேர்மங்களாக மாற்றப்படுகின்றன. இந்தச் சிதைவின் சில நிலைகளின்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் வெப்பமாக வீணாகி விடாமல், ATP-கள் (அடினோசைன் டிரைஃபாஸ்ஃபேட்டுகள்) என்ற ஆற்றல் நாணயங்களில், பயன்படும் ஆற்றலாக உயிரினங்கள் சேமிக்கின்றன. ATP-உற்பத்திக்காக நிகழும்

இந்த ஆக்சிகரணச் செயல்கள் யாவும் சிதைவுச் செயல்கள் (catabolic processes) எனப்படுகின்றன.

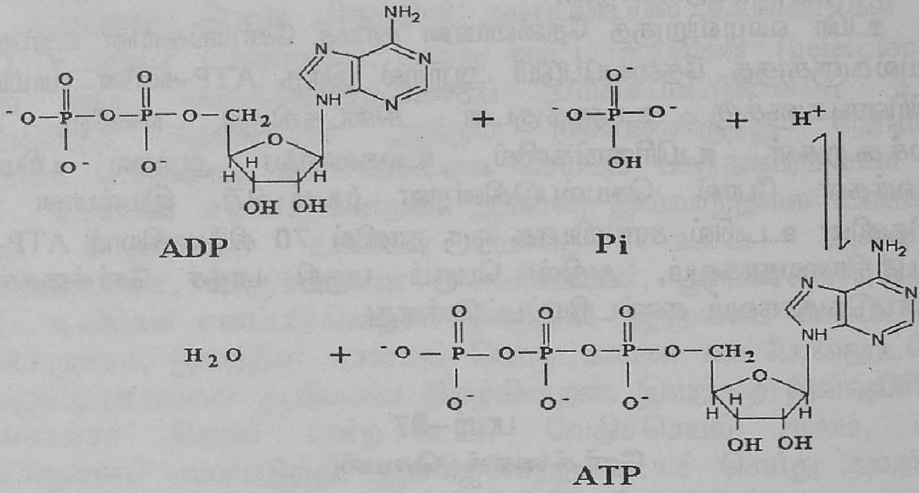
உயிர் வாழ்விற்குத் தேவையான கரிமச் சேர்மங்களின் உற்பத்திச் செயல்களுக்குத் தேவைப்படும் ஆற்றல் இந்த ATP-களின் வாயிலாக உயிரினங்களுக்கு உடனுக்குடன் கிடைக்கிறது. எனவே, ATP மூலக்கூறுகள் உயிரினங்களில், உலகலாவிய ஆற்றல் பரிமாற்ற முகவர்கள் போல் செயல்படுகின்றன (படம்–97). இயல்பான ஒரு மனிதனின் உடலில் சராசரியாக ஒரு நாளில் 70 கிலோகிராம் ATP-கள் உற்பத்தியாவதாகவும், அதில் பெரும் பகுதி புரதச் சேர்க்கைக்குப் பயன்படுவதாகவும் கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

படம்–97



கரிமச்சேர்மங்களின் உற்பத்திச் செயல், சிதைவுச் செயல் ஆகிய இரண்டும் பல்வேறு வேதிவினைகளைப் பெற்றுள்ளன. எனவேதான் படம்–97 இல் இவை பல அம்புக் குறிகளுடன் காட்டப்பட்டுள்ளன. அத்துடன் சேர்க்கைச் செயல்களின் ஒரு சில வினைகளின்போது ATP-கள் உற்பத்தியாவதும், சிதைவுச் செயல்களின் ஒரு சில வினைகளில் ATP-கள் பயன்பட்டு உடைக்கப்படுவதும் காட்டப்பட்டுள்ளது. எனவே, ATP-இன் உற்பத்தியும் சிதைவும் ஒரு மின் வினையாக உயிரிகளில் நிகழ்கிறது. இந்த மீள்வினை பின்வருமாறு குறிப்பிடப்படுகிறது (படம்-98).

படம்–98

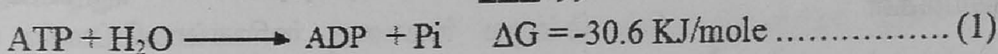


ATP-யின் அடினோசைன் சேர்மம் ரிபோஸ் சர்க்கரையின் 5–ஆவது கார்பனுடன் (5'இலக்கு), அடினைன் நியூக்ளியோடைடு எஸ்டர் பிணைப்புற்று உருவாகும் ஒரு சேர்மமாகும் Pi–என்பது தனிமஃபாஸ்ஃபேட்டாகிய ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலத்தைக் குறிக்கிறது. உயிர்ம ஆற்றலியலில் ATP-யின் ஆக்க–சிதைவு வினை மிக முக்கியப் பங்காற்றுகிறது. இம்முக்கியத்துவத்தைத் தெரிந்து கொள்ள கீழ்க்கண்ட கருத்துகளை மனதில் கொள்ளுதல் மிகவும் தேவையாகும்.

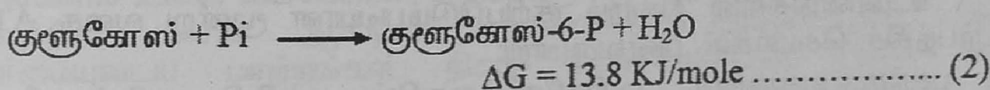
1) ATP–யின் ஆக்கத்தின் போது ஒரு மூலக்கூறு நீர் நீக்கப்படுகிறது. எனவே இது நீர் நீக்கச் செயலாகும்.
2) ATP-யின் சிதைவின் போது ஒரு மூலக்கூறு நீர் சேர்க்கப்படுகிறது. எனவே இது ஒரு நீர்சேர்ப்புச் செயலாகும்.
3) ATP-சிதைவு ஒரு தன்னிச்சை செயலாகும். எனவே, தன்னிச்சை செயல் ஒன்றில் வெளியேற்றப்படுவதைப் போல், இச்செயலிலும் கட்டுறா ஆற்றல் (free energy) வெளிப்படுகிறது. ĆG எனப்படும் இந்த ஆற்றல் அளவு, pH-7, 25°C உள்ள நிலையான சூழலில் – 30.7 கிலோ ஜீல்ஸ் (kj)/ மோல் என்ற வரையளவாக உள்ளது. இது –7 கிலோ கலோரி (Kcal)/ மோல் என்பதற்குச் சமம். (ஏனெனில் 4.2 J = 1 Kcal). ஆனால் ATP நீராற்பகுப்பின் போது வெளிப்படும் இவ்வாற்றல் -50kj/ மோல் என்ற வரையளவாக உள்ளது. இது -10 அல்லது -12 Kcal/mole என்ற அளவிற்குச் சமம்.
4) கட்டுறா ஆற்றல் என்பது, நிகழும் செயலில் ஒரு நிலை. எனவே பல வினைகளடங்கிய ஒரு வேதிச்செயலின் கட்டுறா ஆற்றல் வேறுபாடு (ĆG), தொடக்க நிலை, முடிவு நிலை ஆகியவற்றில் காணப்படும் கட்டுறா ஆற்றல் அளவுகளைப் பொறுத்ததே தவிர, நிகழும் வினைகளின்

பாதையைப் பொறுத்தது அல்ல. ஒரு முழு வேதிவினையின் ĆG அளவை, அதில் வரும் வினைகள் ĆG-களைச் சேர்த்து கூட்டுவதன் மூலம் கணக்கிட வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக, நிலையான pH, வெப்பநிலை கொண்ட நிலையில் குளூகோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றமடைந்து குளூகோஸ்–6–ஃபாஸ்ஃபேட்டாக மாறும் வேதிச் செயலின் ĆG-அளவைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம் (படம்–99).

படம்-99

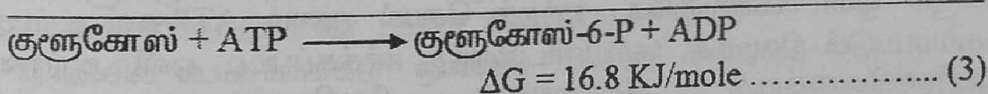


$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi \quad \Delta G = -30.6$ KJ/mole .... (1)



குளூகோஸ் + Pi ⟶ குளூகோஸ்-6-P + H_2O

$\Delta G = 13.8$ KJ/mole .... (2)



குளூகோஸ் + ATP ⟶ குளூகோஸ்-6-P + ADP

$\Delta G = 16.8$ KJ/mole .... (3)

இங்கு நிகழும் இருவினைகளில் முதல் வினை ஆற்றல் விடுவிக்கும் வினையாக உள்ளது. எனவே இதன் ĆG எதிர்குறியீட்டு எண்ணாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. இரண்டாவது வினை ஆற்றல் சேர்க்கும் வினையாக உள்ளது. எனவே, இதன் ĆG நேர்குறியீட்டு எண்ணாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது.

5) ATP நீராற்பகுப்பின் ĆG அளவு பிற உயிர் வேதி வினைகளின் ĆG அளவைவிட குறிப்பிடப்படக் கூடிய அளவிற்கு அதிகமாக உள்ளது. அதாவது ADP, Pi ஆகியவற்றைக் கொண்டு உருவாக்கப்படும் ATP-யில் அதிக வேதிய ஆற்றலைச் சேமிக்க முடியும் என்பதையே இது புலப்படுத்துகிறது.

6) ATP-நீராற்பகுப்புத் தன்னிட்சை செயல் என்றாலும் துரிதமாக இது நிகழ வேண்டுமாயின் குறிப்பிட்ட நொதி (மேற் கூறிய எடுத்துக்காட்டில் ஹெக்சோகைனேஸ்) இருந்து வினையூக்கியாக செயல்படுதல் வேண்டும். எனவே தான் உயிரினங்களின் செல்களில் இவை தோன்றிய உடனேயே சிதைந்துவிடாமல், சேமிக்கப்பட்டு, பின்னர் வினை நிகழ்வதற்கான தகுந்த நிலையும் நொதியும் கிடைக்கும் தருணத்தில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

7) சில சமயம் ATP நீராற் பகுப்புற்று, இரு ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளை இழந்து அடினோசைன் மோனோஃபாஸ்ஃபேட்டாக கீழ்க்கண்டவாறு உடைகிறது.



ATP W AMP + PPi

இங்கு விளைபொருளாக உருவாகும் தனிம ஃபாஸ்ஃபேட் பைரோஃபாஸ்ஃபேட் எனப்படுகிறது. ATPWADP யாக மாறும்போது வெளியேறும் ஆற்றல் அளவை விட இந்த வினையின் போது வெளியேறும் ஆற்றல் அளவு சற்று உயர்வாகவே இருக்கும்.

15.2. உயிரினங்களில் நிகழும் சில ATP உற்பத்தி, ATP நீராற்பகுப்பு செயல்கள்

உயிரினங்களில் நிகழும் குறிப்பிடும்படியான மூன்று வகை ATP-உற்பத்திச் செயல்கள் பின்வருமாறு:

i) பசுந்தாவரங்களின் ஒளிச்சேர்க்கையில், ஒளிவினையின் போது நிகழும் ஒளி ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றச் செயல் மூலம் ATP-கள் உற்பத்தி செய்யப்படும் நிகழ்ச்சி, சூரியனிடமிருந்து ஈர்க்கப்பட்ட ஒளி ஆற்றலை, உயிரினங்களுக்குத் தேவையான வேதியாற்றலாக மாற்றிட உதவுவதுடன், அனைத்து உயிரினங்களின் உலகளாவிய ஆற்றல் தேவையை நிறைவு செய்யவும் உதவுகிறது. (இந்த ஒளி ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றச் செயலின் விரிவான விளக்கம் ஒளிச்சேர்க்கை என்ற தலைப்பில் தரப்பட்டுள்ளது).

ii) காற்றில்லா சுவாசிகளாகத் திகழும் உயிரிகளில் கிளைகாலிசிஸ் செயலின் போது, நிகழும் தளப்ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றச் செயலின் மூலம் உருவாகும் ஆற்றல்மிகு ATP–கள் அவ்வுயிரிகளுக்குத் தேவையான ஆற்றலைத் தந்து உதவுகின்றன. (செல் சுவாசச் செயல் என்ற தலைப்பில் வரும் கிளைகாலிசிஸ் செயல் பற்றிய விளக்கத்தில் விரிவாக இது தரப்பட்டுள்ளது).

iii) காற்று சுவாசச் செயலின் இறுதி நிலையான ஆக்சிகரண ஃபாஸ்ஃபேட் ஏற்றச் செயலின் மூலம் உருவாகும் ATP–கள் உயிரினங்களின் பெரும்பாலான உயிர்ச் செயல் நிகழ்விற்குத் தேவையான ஆற்றலைத் தந்து உதவுகின்றன. (இதன் விரிவான விளக்கம் செல் சுவாச செயல் என்ற தலைப்பில் வரும் எலக்ட்ரான் மாற்றுத் தொடர் வினையில் தரப்பட்டுள்ளது).

இனி ATP–நீராற் பகுப்புற்று ஆற்றல் வெளிப்படும் செயல்கள் சிலவற்றை காண்போம்.

i) உயிரினங்களில் நிகழும், புரதம், உயர் வகை கார்போஃஹைட்ரேட்டுகள், கொழுப்புச் சேர்மங்கள், உட்கரு அமிலங்கள், பிற இரண்டாம் நிலை சேர்மங்கள் போன்ற பெரு மூலக்கூறுகளின் உற்பத்திச் செயல்கள் வரிசையாக அமைந்த பல வினைகள் அடங்கிய தன்னிச்சையற்ற செயல்களாகும்.

இச்செயல்களுக்குத் தேவையான ஆற்றல்கள் அனைத்தும் ஆங்காங்கு ATP-கள் நீராற் பகுப்படைவதன் மூலம் கிடைக்கின்றன.

ii) செல்களுக்கிடையேயும், செல் உள் இருக்கும் நுண் உள்ளுறுப்புகளால் உருவாகும் தடுப்பறைகளுக்கிடையேயும், காணப்படும் சவ்வுகளின் இருபுறமும் தோன்றும் செறிவு வேறுபாடுகளைத் தக்கவைத்துக் கொள்ள ATP-களின் நீராற்பகுப்பால் தோன்றும் ஆற்றல் பெரிதும் உதவுகிறது.

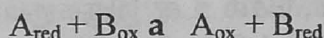
iii) விலங்கினங்களின் தசைகள் சுருங்கி விரிய அவற்றின் தசை நார் செல்களில் உள்ள மையோசின் புரதங்களுக்கு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. அவற்றில் உள்ள ஆக்டின் புரதங்களின் வடிவமைப்பில் மீள் தன்மையுடைய மாற்றங்கள் நிகழ வேண்டியுள்ளது. இந்த இரு செயல்களுக்கும் தேவையான ஆற்றல்கள் தசை செல்களில் உள்ள ATP-களின் நீராற்பகுப்பின் மூலம் கிடைக்கின்றன.

iv) ஒரு சில உயிரினங்கள் ஒளியை உமிழும் தன்மை பெற்றுள்ளன. இந்த ஒளி உமிழும் நிகழ்ச்சியின் போது லியூசிஃபெரின் (leuciferin) என்ற புரதத்துடன் சேர்ந்து ஃபோட்டான்களை (photons) வெளியேற்ற ATP-யின் நீராற்பகுப்புச் செயல் உதவுகிறது. அதாவது ATP-யில் உள்ள வேதியாற்றல் ஒளி ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. இந்நிகழ்ச்சியின் போது ATP a AMP –ஆக நீராற்பகுப்படைவது குறிப்பிடத்தக்கது.

15.3. ஆக்சிகரண - குறைதல் இயல்திறன் (Oxidation – reduction potential) அல்லது ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் (Redox Potential)

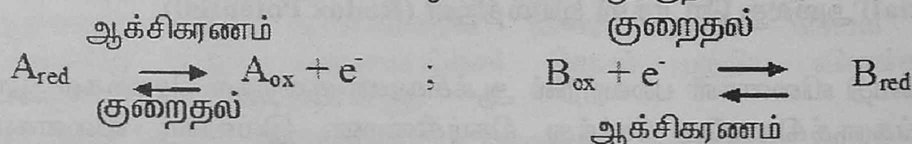
வேதி வினைகள் பலவற்றில் ஆக்சிகரண-குறைதல் செயல்கள் இரு சேர்மங்களுக்கிடையே சேர்ந்து நிகழ்கின்றன. இவ்வகை வினைகள் ஆக்சிகரண–குறைதல் வினைகள் அல்லது ரெடாக்ஸ் வினைகள் எனப்படுகின்றன. இந்த வினைகளின் போது எலக்ட்ரான்கள் ஒரு சேர்மத்திலிருந்து மற்றொன்றிற்கு மாற்றப்படுகின்றன. பெரும்பாலான ரெடாக்ஸ் வினைகளில் எலக்ட்ரான்களுடன், புரோட்டான்களும் (H^+) மாற்றப்பட்டாலும், ரெடாக்ஸ் இயல்திறனில் எலக்ட்ரான்கள் மாற்றப்படுவது முக்கியத்துவம் பெறுகிறது. எலக்ட்ரான் மாற்றப்படுவதற்கு, அதனைக் கொடுத்து உதவும் சேர்மம் எலக்ட்ரான் கொடுப்பி (electron donor) என்றும், பெற்றுக்கொள்ளும் சேர்மம் எலக்ட்ரான் ஏற்பி (electron acceptor) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. எலக்ட்ரான் நீக்கப்படும் செயல் ஆக்சிகரணம் எனவும், எலக்ட்ரானை ஏற்கும் செயல் குறைதல் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. எலக்ட்ரான் கொடுப்பி, ஏற்பியைக் குறைதலடையச் செய்வதால் அதனைக் குறைப்பி (reductant) என்றும், எலக்ட்ரான் ஏற்பி எலக்ட்ரானை ஏற்பதன் மூலம் கொடுப்பியை ஆக்ஸிகரணமடையச் செய்வதால் அதனை ஆக்ஸிகரணி

(Oxidant) என்றும் அழைக்கலாம். இதனைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.



இந்த வினையில் வினைபடு பொருட்களான A-யும், B-யும் முறையே குறைக்கப்பட்ட நிலையிலும் (A_{red}) ஆக்சிகரணிக்கப்பட்ட நிலையிலும் (B_{ox}) உள்ளன. இந்த வினைபடு பொருட்களில் 'A' எலக்ட்ரான்களை இழந்து ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்ட நிலையையும், 'B' எலக்ட்ரான்களை ஏற்று குறைக்கப்பட்ட நிலையையும் அடைகின்றன.

இந்த வினையில் A_{red}, A_{ox} ; B_{red}, B_{ox} என மொத்தம் நான்கு பகுதிக்கூறுகள் காணப்படுகின்றன. இவற்றுள் A_{red}, A_{ox} ஆகியவை ஒரு இணையாகவும், B_{red}, B_{ox} என்பவை மற்றொரு இணையாகவும் கருதப்படுகின்றன. வினையின் திசை இடப்புறமிருந்து வலப்புற திசை நோக்கிய நிலையில் இருக்கும் காலம் வரை, A_{red}, A_{ox} இணைகள் குறைக்கும் பணியையும், B_{red}, B_{ox} இணைகள் ஆக்சிகரணிக்கும் பணியையும் செய்து கொண்டே இருக்கின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. எனவே, ஆக்சிகரண–குறைதல் வினை ஒவ்வொன்றிலும் எலக்ட்ரான் அளிப்பானாக விளங்கும் இணை ஒன்றும், எலக்ட்ரான் ஏற்பிகளாக விளங்கும் இணை ஒன்றும் காணப்படுகின்றன. இந்த ஆக்சிகரண குறைப்பு வினையில் எலக்ட்ரானின் பங்களிப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

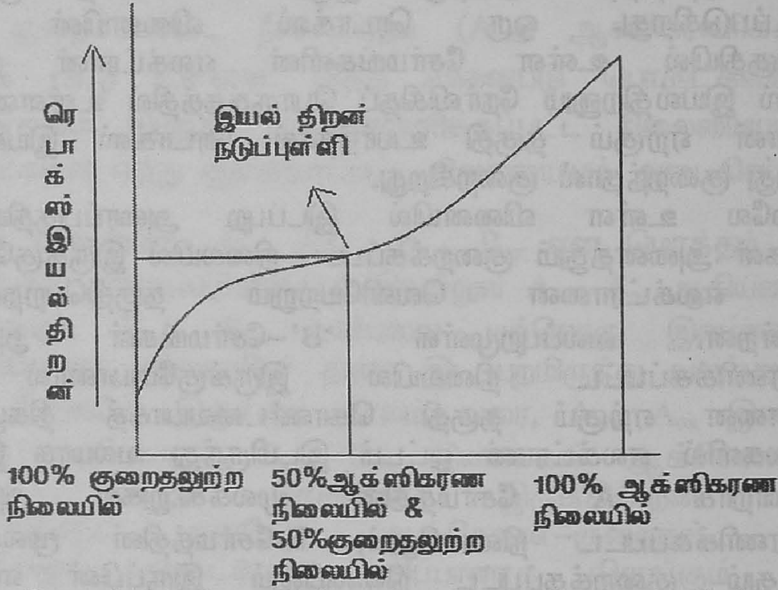


இங்கு முழுவினையும் இரு அரைப்பகுதிகளாக பிரித்துக் காட்டப்பட்டுள்ளன. இடமிருந்து வலமாக (a) எலக்ட்ரான் ஓட்டம் நிகழுமேயானால், முதல்பாதி வினையில் வரும் A_{red} a A_{ox} இணைகள், ஆக்சிகரண வினையைச் செய்யும் இணைகளாகவும், அடுத்த பாதியில் வரும் B_{ox} a B_{red} இணைகள், குறைதல் வினையைச் செய்யும் இணைகளாகவும் செயல்படுகின்றன. வலமிருந்து இடமாக (_) எலக்ட்ரான் ஓட்டம் நிகழுமேயானால், முதல்பாதி வினையில் வரும் B_{red}a B_{ox} இணைகள், ஆக்ஸிகரண வினையைச் செய்யும் இணைகளாகவும், அடுத்த பாதியில் வரும் A_{ox}a A_{red} இணைகள், குறைதல் வினையைச் செய்யும் இணைகளாகவும் செயல்படுகின்றன.

இந்த இரு அரைப்பகுதி வினைகளில், எந்த அரைப் பகுதி எலக்ட்ரானை இழக்கும் பாதியாகவும், எது எலக்ட்ரானை ஏற்கும் பாதியாகவும் விளங்கவேண்டும் என்பதை அந்தந்த அரைப்பகுதியில்

உள்ள சேர்மங்களின் அல்லது மூலக்கூறுகளின் "எலக்ட்ரான் நாட்ட ஒப்பீட்டு அளவே " (relative electron affinity) தீர்மானிக்கிறது. இந்த எலக்ட்ரான் நாட்டம் ரெடாக்ஸ், இயல்திறன் (redox potential) என்ற அலகாக அளந்தறியப்படுகிறது. இது E'o என்ற குறியீட்டால் குறிப்பிடப்படுகிறது. ஒரு ரெடாக்ஸ் வினையின் அந்தந்த அரைப்பகுதியில் உள்ள சேர்மங்களின் எலக்ட்ரான் நாட்டமும், ரெடாக்ஸ் இயல்திறனும் நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் உள்ளன. எனவே எலக்ட்ரான் ஏற்கும் தகுதி உயர்ந்தால் ரெடாக்ஸ் இயல் திறன் உயர்கிறது குறைந்தால் குறைகிறது.

மேலே உள்ள வினையில் இடப்புற அரைப்பகுதியில் 'A' சேர்மங்கள் அனைத்தும் குறைக்கப்பட்ட நிலையில் இருக்குமேயானால் அவை எலக்ட்ரானை வெளியேற்றும் தகுதிபெற்றவையாகத் திகழ்கின்றன. வலப்புறமுள்ள 'B'–சேர்மங்கள் அனைத்தும் ஆக்சிகரணிக்கப்பட்ட நிலையில் இருக்குமேயானால் அவை எலக்ட்ரானை ஏற்கும் தகுதி கொண்டவையாகத் திகழ்கின்றன. இந்நிலைகளில் எலக்ட்ரான் ஓட்டம் இடமிருந்து வலமாக இருக்கும். இதற்குமாறாக 'A' சேர்மத்தின் மூலக்கூறுகள் அனைத்தும் ஆக்சிகரணிக்கப்பட்ட நிலையிலும், B-சேர்மத்தின் மூலக்கூறுகள் அனைத்தும் குறைக்கப்பட்ட நிலையிலும் இருப்பின் எலக்ட்ரான் ஓட்டம் வலமிருந்து இடமாக நிகழும். எனவே, வினையின் எந்த அரைப் பகுதியில் குறைக்கப்பட்ட பகுதிக் கூறுகள் அதிகமுள்ளதோ அங்கிருந்துதான் எலக்ட்ரான் இடமாற்றம் நிகழ முடியும். இப்பகுதியில் குறைதலுற்ற மூலக்கூறுகளின் அளவு 100 விழுக்காடாக இருப்பின், அதன் ரெடாக்ஸ் இயல் திறன் மிகக் குறைந்த அளவில் இருக்கும். ஆனால் இதன் அளவு இங்கு குறையக்குறைய அதே சமயம் ஆக்சிகரணமடைந்த மூலக்கூறுகளின் அளவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க அதன் ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் படிப்படியாகக் கூடிக்கொண்டே செல்கிறது. ஆக்சிகரணமடைந்த குறைதலுற்ற மூலக்கூறுகளின் அளவு சம எண்ணிக்கையில் இருக்கும் தருணத்தில் காணப்படும் ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் அதன் "இயல் திறன் நடுப்புள்ளி" (mid-point potential) எனப்படுகிறது. அனைத்து மூலக்கூறுகளும் ஆக்சிகரண நிலையில் (100%) இருக்கும் போது இதன் ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் அளவு உச்ச நிலையில் இருக்கும் (படம்–100). ரெடாக்ஸ் வினைகளில் எலக்ட்ரான் இடமாற்றம் நிகழ்வதால் இவற்றில் மின்னியல் செயல் நிச்சயம் காணப்படுதல் வேண்டும். எனவே தான் ரெடாக்ஸ் இயல் திறன் வோல்ட் (volt) அளவாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது.

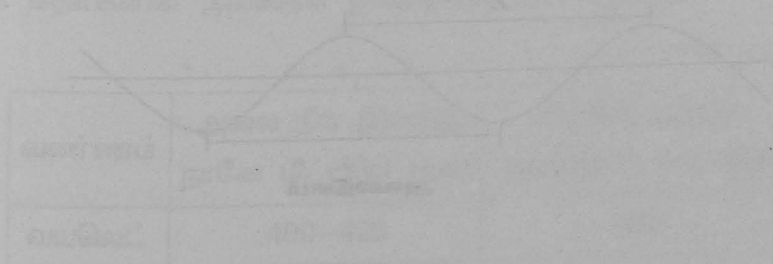


ஒரு ரெடாக்ஸ் வினையில் பங்காற்றும் இணைச் சேர்மங்களின் எலக்ட்ரான் நாட்ட அளவை (ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் அளவை), தெரிந்த ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் அளவைப் பெற்ற மதிப்பிட உதவும் இணை ஒன்றுடன் ஒப்பிட்டுப்பார்த்து கணக்கிட்டுவிடலாம். இதற்காக ஹைட்ரஜன் அரைசெல் (half cell) ஒன்று பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் நிகழும் வேதிவினை பின்வருமாறு H2 a $2H^+ + 2e^-$. இதன் எலக்ட்ரான் நாட்டத்தை எந்த விதிக்கட்டுபாடுமின்றி 'O' என எடுத்துக் கொண்டு இந்த ஒப்பீடு செய்யப்படுகிறது. இந்த ஹைட்ரஜன் செல்லுடன் ஆக்சிகரணமடைந்த மற்றும் குறைதலுற்ற மூலக்கூறுகளைச் (ரெடாக்ஸ் இணைகளை) சம செறிவில் பெற்ற மற்றொரு அரை செல்லுடன் இணைக்கும் போது உருவாகும் ரெடாக்ஸ் இயல்திறனைக் கொண்டு, ரெடாக்ஸ் இணையின் இயல்திறனைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

ஹைட்ரஜன் அரைசெல்லுடன் இணைக்கப்பட்டவுடன் அதிலிருந்து ரெடாக்ஸ் இணைகளைப் பெற்ற அரை செல்லிற்குள் எலக்ட்ரான் ஒட்டம் நிகழ்ந்தால் நேர்குறியீட்டு அளவுடைய மின்னோட்டம் (வோல்ட் அளவு) தோன்றுகிறது. அதாவது நேர்குறியீட்டு அளவுடைய ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் உருவாகிறது. இதற்குமாறாக ரெடாக்ஸ் இணைகளைப் பெற்ற அரைசெல்லிலிருந்து எலக்ட்ரான் ஹைட்ரஜன் செல்லிற்குச் செல்லுமாயின் எதிர்குறியீட்டு அளவுடைய மின்னோட்டம் தோன்றுகிறது. அதாவது எதிர்குறியீட்டு அளவுடைய ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் உருவாகிறது.

செல்களில் காணப்படும் சில ரெடாக்ஸ் இணை சேர்மங்களின் ரெடாக்ஸ் இயல்திறன் அளவுகள் இவ்வாறு அளந்தறியப்பட்டு கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப் படுத்தப்பட்டுள்ளது.

வினையில் பங்குகொள்ளும் இணைச் சேர்மங்களைப் பெற்ற அரை செல்	E_O' (pH = 7.0) in Volts
ஆக்சிஜன்/நீர் ($^1/_2\, O_2 + 2H^+ + 2e^-$ W H_2O)	+ 0.82
ஃபெரிக்/ஃபெரஸ் ($Fe^{+++} + e^-$ W Fe^{++})	+ 0.77
நைட்ரேட்/நைட்ரைட் ($NO_3 + 2e^-$ W NO_2)	+ 0.42
சைட்டோகுரோம் (Ox/Red) ($Fe^{+++} + e^-$ W Fe^{++})	+ 0.30
ஃபியூமாரிக் அமிலம் + 2H + $2e^-$ W சக்சினிக் அமிலம்	+ 0.03
பைரூவிக் அமிலம் + 2H + $2e^-$ W லாக்டிக் அமிலம்	- 0.18
NAD / NADH ($NAD^+ + 2H^+ + 2e^-$ W $NADH + H^+$)	- 0.32



16. ஒளி உயிரியல்
(Photobiology)

அனைத்து உயிரிகளுக்கும் ஆற்றல் கிடைக்க அடிப்படை ஆதாரமாக இருப்பது சூரிய ஒளியாகும். ஏனெனில், இவ்வொளியை ஈர்த்து வேதி ஆற்றலாக பசுந்தாவரங்கள் மாற்றுவதன் மூலமே, உலகின் அனைத்து உயிரிகளுக்கும் ஆற்றல் கைவரப்பெறுகிறது. எனவே, ஒளியின் தன்மைகளைப் பற்றி அறிந்து கொள்வது மிகவும் இன்றியமையாததாகும்.

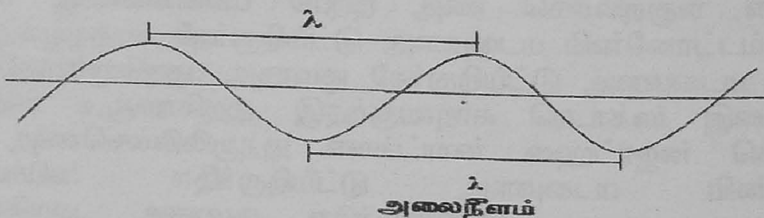
16.1. ஒளியின் தன்மை

ஒளிக்கு இரு பண்புகள் உள்ளன. நேர் கோட்டில் பரவாமல் அலையாகப் பரவுதல் ஒரு பண்பு. ஒளியின் தன்மைகளான பிரதிபலித்தல், கதிர்சிதர்வு (refraction), இடையீடு (interference), கதிர் சிதைவு (diffraction) போன்றவற்றை விளக்க இந்த அலைப்பண்பு உதவுகிறது. ஒளியின் மற்றொரு பண்பு துகள் பண்பாகும். ஒளிக்கதிர் ஒன்று பல எடையற்ற, ஆனால் ஆற்றல் செறிவுற்ற துகள்களால் ஆனது என்பதே இதன் கருத்தாகும். பொருள் ஒன்றுடன் ஒளி கொண்டுள்ள கூட்டுச் செயல் விளைவை விளக்க இப்பண்பு உதவுகிறது.

16.1.1. அலைப் பண்புடன் தொடர்புடைய ஒளி இயல்புகள்

ஒளி அலைக்கு, வேகம் (v), அலைநீளம் (Ï), நிகழ்வெண் (n) என மூன்று பண்புகள் உள்ளன. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒளி வரும் இடத்திலிருந்து தோன்றுகின்ற ஒளி அலைகளின் எண்ணிக்கை அதன் நிகழ்வெண் எனப்படுகிறது. பொதுவாக இது ஒரு நொடியில் வெளிப்படும் எண்ணிக்கையாகக் கொடுக்கப்படுகிறது (n Sec^{-1}). ஒளி அலையின் இரு முகடுகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் அதன் அலைநீளம் எனப்படுகிறது. நீளத்தின் அலகாகிய செ.மீ (cm) கொண்டு இதைக் குறிப்பிடலாம். ஆனால் ஒளிக்கதிர் அலைநீளம் செ.மீட்டருக்குக் குறைவான அளவில் இருப்பதால், பொதுவாக நானோமீட்டர் அலகில் குறிப்பிடப்படுகிறது (படம்–101).

படம்–101



($1nm = 10^{-9}m = 10^{-7}cm$). ஒளியின் வேகம் (velosity) அதன் நிகழ்வெண், அலைநீளம் ஆகியவற்றின் பெருக்கல் பலனாகும். இதைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

$$V = (nSec^{-1}) (Í\ cm) = n\ Í\ cmSec^{-1}$$

இந்தப் பெருக்கஅளவு 'C' எனவும் குறிப்பிடப்படுகிறது.

ஒளியின் வேகம் அது பரவும் ஊடகத்தைப் பொறுத்தது. அதாவது ஊடகத்தின் ஒளிச்சிதறல் குறியீட்டு அளவை (:) பொருத்தது. எனவே ஒரு ஊடகத்தில் ஒளியின் வேகம் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடப்படுகிறது.

$$V = C/:$$

காற்று ஊடகத்திற்கு :-அளவு 1-ஆக இருப்பதால் V–யின் அளவில் (ஒளியின் வேகத்தில்) மாற்றம் ஏதும் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால் பிற ஊடகங்களில் இந்த அளவு ஒன்றை விட அதிகமாக இருப்பதால் ஒளியின் வேகம் குறைவாகவே இருக்கும். பொதுவாக காற்று ஊடகத்தில் ஒளியின் வேகம் $3X10^{10}cm\ sec^{-1}$ என இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

அலைப்பண்பு தீர்மானிக்கும் ஒளியின் மற்றொரு இயல்பு அதன் நிறத்தன்மையாகும். சூரியனிலிருந்து பூமிக்கு வரும் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சைப் பொதுவாக நாம் ஒளி என்கிறோம். இதில் வயலெட், இணடிகோ, ஊதா, பச்சை, மஞ்சள், ஆரஞ்சு, சிவப்பு என ஏழுவண்ணக் கதிர்கள் உள்ளன. இவை ஏழும் சேர்ந்த பகுதி வெள்ளொளி (white light) எனப்படுகிறது. சூரியனிலிருந்து வரும் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சின் பல்வேறு நிறமாலைகளில், பூமிக்கு வரும் இந்த வெள்ளொளியின் நிறமாலை புலனாகும் நிறமாலை எனப்படுகிறது. ஒற்றை நிறக்கதிரில், அலைநீள இலக்குற்ற பல கதிர்கள் உள்ளன என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது. எனவே ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிர் என்பது அந்நிறத்திற்குரிய அலைநீள இலக்குற்ற பல கதிர்கள் அடங்கிய ஒரு தொகுப்பேயாகும். இத்தொகுப்பின் ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீள அளவைக் கொண்டு அவ்வொளிக்கதிர் குறிப்பிடப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, வயலெட் நிற ஒளிக்கதிரில் 400 முதல் 425nm வரையிலான அலைநீள இலக்குற்ற பல கதிர்கள் உள்ளன. இருப்பினும் இது 410nm அலைநீளத்தைக் கொண்டதாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. பிற நிறமிக் கதிர்களின் அலைநீள இலக்குகள் பின்வருமாறு:

வண்ணம்	அலை நீள இலக்கு நானே மீட்டரில் (nm)	குறிக்க உதவும் அலைநீளம் (nm–இல்)
வயலெட்	400–425	410

நீலம்	435–490	460
பச்சை	490–560	520
மஞ்சள்	560–585	580
ஆரஞ்சு	585–640	620
சிவப்பு	640–740	680

வேதிச் சேர்மங்கள் அனைத்தும் (உயிர்வேதிச் சேர்மங்கள் உட்பட) அவற்றின் செறிவிற்கேற்ப ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளமுள்ள வண்ணக் கதிரை ஈர்க்கும் தன்மை பெற்றுள்ளன. இந்தக் குறிப்பிட்ட அலைநீளமுள்ள ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிரை வெளியிட உதவும், நிறமாலைமானியின் உதவிகொண்டு வேதிச் சேர்மத்தின் ஒளி ஈர்ப்பு அளவைக் கண்டறிந்து, அதன் மூலம் செறிவைக் கணக்கிடலாம். இதற்கு ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிரைப் பிரித்து வெளிப்படுத்த உதவும் நிற வடிகட்டிகளையோ, இடைப்புகு (interference) வடிகட்டிகளையோ அல்லது ஒற்றை நிற ஒளியாக்கிகளையோ (monochromators) கொண்ட நிறமானிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

இவற்றுள் நிற வடிகட்டி, ஒரு நிறக்கதிரின், அலைநீள இலக்குற்ற அனைத்துக் கதிர்களையும் வெளிப்படுத்துவதால், சேர்மத்தின் செறிவைத் துல்லியமாக அளந்தறிய இயலாது. இதே போல் 650nm எனக் குறிக்கப்பட்ட இடைப்புகு வடிகட்டி 650nm அலை நீளமும் அதன் அருகமைந்த சில அலைநிளங்களைப் பெற்ற கதிர்களையும் பிரித்து, ஆனால், 650nm அலை நீளக்கதிரை அதிக அளவில் வெளிப்படுத்தும் தன்மை பெற்றுள்ளது.

ஒற்றை நிற ஒளியாக்கி வெளிப்படுத்தும் ஒளிக்கதிர்களின் அலை நீள இலக்கு மிகக் குறுகியது. ஏறக்குறைய ஒற்றை அலை நீள ஒளிக்கதிரை மட்டும் வெளிப்படுத்தும் தகுதியைப் பெற்றுள்ளது. எனவே இதனைப் பெற்ற நிறமாலைமானி (spectophotometer) உதவி கொண்டு, சேர்மத்தின் செறிவை, இதன் ஈர்ப்பு அளவின் உதவி கொண்டு ஏறத்தாழ துல்லியமாகக் கணக்கிட முடியும்.

16.1.2. துகள் பண்புடன் தொடர்புடைய ஒளி இயல்புகள்

சூரியனின் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சில் உள்ள ஒவ்வோர் ஒளிக்கதிரும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. ஒளியின்

துகள் பண்பின் மூலம் இந்த ஆற்றல் அளவைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

ஒளிக்கதிரின் ஃபோட்டான் துகள் ஒவ்வொன்றும் கதிரின் தன்மைக்கேற்ப குறிப்பிட்ட ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல் சிப்பம் (quantum) எனப்படுகிறது. இதைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

E = hn இதில் 'E' ஆற்றலையும், h' என்பது பிளாங்கின் மாறிலி (planck's constant) என்பதையும், 'n' என்பது ஒளியின் நிகழ்வெண்ணையும் குறிக்கின்றன. h–இன் அளவு $6.6x10^{-27}ergs^{-Se}$. இது $1.6x10^{-35}$ k.cal-க்குச் சமமாகும். சமன்பாட்டை நோக்கும் போது, ஒளியின் நிகழ்விரைவு, ஃபோட்டானின் ஆற்றலைத் தீர்மானிக்கும் ஒளிப்பண்பாகத் திகழ்வது தெரிகிறது. ஒளியின் நிகழ்வெண் அதன் வேகத்துடன் தொடர்புடையது. அதாவது C=nÍ. எனவே n = c/Í ஆகும். மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் இதைப் பதிலீடு செய்தால் E = nc/Í கிடைக்கும்.

ஃபோட்டானின் ஆற்றலைப் போல மற்றோர் அளவு சார் பண்பான ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கையையும் ஒளியின் துகள் பண்பின் மூலம் தெரிந்துகொள்ளலாம். எண்ணிக்கையானது எய்ன்ஸ்டீன் (Einstein) அலகில் குறிப்பிடப்படுகிறது.

உயிர் வினைகளில் ஆற்றல் என்பது மோலின் அடிப்படையில் கொடுக்கப்படுகிறது. அதாவது வினைபடு பொருட்கள், விளை பொருட்கள் இவற்றின் மோலின் அடிப்படையில் அமைகிறது. ஒளிவேதி வினைகளில் பங்காற்றும் ஃபோட்டான்களும் வினைபடு பொருட்களேயாகும். எனவே, ஃபோட்டான்களும் மோலின் அடிப்படையில் குறிப்பிடப்படுதல் வேண்டும். ஒரு மோல் ஃபோட்டான் என்பது $6.0x10^{23}$ ஃபோட்டான்களாகும். இதில் $6.0x10^{23}$ என்பது அவகாட்ரோ எண் (Avogadro's number) ஆகும். இது N எனக்குறிக்கப்படுகிறது. ஒரு மோல் ஃபோட்டான் ஒரு எய்ன்ஸ்டீன் எனப்படுகிறது. இதன் ஆற்றல் அளவைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் படி கணக்கிடலாம்:

எய்ன்ஸ்டீனின் ஆற்றல் அளவு = Nhc/Í

எடுத்துக்காட்டாக **460nm** அலைநீளமுள்ள நீலநிற ஒற்றை ஒளிக்கதிரின் எய்ன்ஸ்டீன் அளவைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

எய்ன்ஸ்டீன் அளவு = Nhc/Í

N= ஒரு மோலில் உள்ள ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கை இது **$6.0x10^{23}mole^{-1}$** ஆகும்.

h = பிளாங்கின் மாறிலி = $1.6x10^{-37}Kcal^{-sc}$

c = ஒளியின் வேகம் = $3x10^{10}$ cm^{-1}

Í =அலை நீளம் = 46nm ($460x10^{-7}$cm)

எய்ன்ஸ்டீன் அளவு = $6.0x10^{-23}x1.6x10^{-37}x3x10^{10}/460x10^{-7}$ = 62 Kcal $mole^{-1}$

16.2. சூரியக்கதிர் வீச்சும், சூரிய ஆற்றலும் (Solar radiation and solar energy)

வேதி வினைகளின் போது அணுக்களுக்கிடையே பிணைப்புகள் தோன்றுகின்றன அல்லது பிணைப்புகள் துண்டிக்கப்படுகின்றன. பெரும்பாலான வேதி வினைகளில் இந்தப் பிணைப்பை உருவாக்கவும், துண்டிக்கவும் தேவைப்படும் ஆற்றல் சராசரியாக 30-120 கிலோ கலோரி/மோல் என்ற அளவில் உள்ளது. சூரியக் கதிர் வீச்சில் பூமிக்கு வரும் புற ஊதாக்கதிர்கள், புலனாகும் நிறமாலையில் உள்ள கதிர்கள் ஆகியவற்றை ஈர்ப்பதால் கிடைக்கும் ஆற்றல் இந்த ஆற்றல் அளவிற்குள் இருப்பதால் இக்கதிர்களின் ஃபோட்டான்களே ஒளி வேதி, ஒளி சார்ந்த உயிர்வினைகளிலும் பங்காற்றுகின்றன.

புற ஊதாக் கதிருக்குக் கீழாக உள்ள கதிர்களான K,2, காமா, X – கதிர்கள் உயர் ஆற்றல் கதிர்களாகும். எனவே, இவற்றின் ஃபோட்டான்கள் ஈர்க்கப்படும்போது, ஈர்க்கும் மூலக்கூறு e^--ஆகவும், நேர் மின் சுமை பெற்ற அயனியாகவும் அயனியாக்கமடைகிறது. இந்த எலக்ட்ரான் உயிரிய முறையில் விரும்பத்தகாத சில வினைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இவ்வாறு உயிர் மூலக்கூறுகளுக்கும் அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சுகளுக்கும் இடையே விளையும் கூட்டுச்செயல் விளைவைப் படித்தறியும் அறிவியல் கதிரிவீச்சுசார் உயிரியல் (radiation biology) எனப்படுகிறது. தொலைச் சிவப்புக் கதிர்களின் ஃபோட்டான்கள் வேதி வினைகள் நிகழ்த்துவதற்குறிய ஆற்றல் அளவைப் பெற்றிராததால் இவற்றில் ஈர்ப்பு அதிக முக்கியத்துவம் பெறுவதில்லை.

பூமியின் வளிமண்டலம் பகுதிக்கு (கடல் மட்டப்பரப்பிலிருந்து 30 கிலோமீட்டர்) சூரியக்கதிர் வீச்சு வரும்போது அதில் புற ஊதாக்கதிர்கள்(5%), புலனாகும் நிறமாலையின் கதிர்கள் (20%), அகச்சிவப்புக் கதிர்கள் (70%) ஆகியவை மட்டுமே இருக்கும். இக்கதிர் வீச்சின் ஆற்றல் அடிப்படையிலான தீவிரம் ஒரு நிமிடத்திற்கு ஒரு சதுர செ.மீ பரப்பில் 2-கலோரி என உள்ளது. ($2\ cal\ cm^{-2}\ min^{-1}$). இது சோலார் மாறிலி (solar constant) எனப்படுகிறது. ஆனால் சூரியக்கதிர்வீச்சு பூமியின் வளிமண்டலத்தின் வழியாகச் செல்லும் போது, அங்குள்ள பல்வேறு பொருட்களாக ஈர்க்கப்படுவதால் அதன் தீவிரம் குறைகிறது.

வளிமண்டலத்தின் மேலடுக்காகிய ஸ்ட்ராட்டோஸ்ஃபியரில் உள்ள ஓசோன் படலத்தால் பெரும்பகுதி புற ஊதாக் கதிர்கள் ஈர்க்கப்பட்டுவிடுகின்றன. வளிமண்டலத்தின் அடி அடுக்கில் நீராவி

மூலக்கூறுகளும், CO_2-வும் அதிகமிருப்பதால் இப்பகுதியில் அதிக அளவு தொலைச் சிவப்புக் கதிர்கள் ஈர்க்கப்பட்டுவிடுகின்றன. தொலைச் சிவப்புப் பகுதியில் 900 nm, 1100 nm, 1400 nm அலை நீளமுள்ள கதிர்களை மிக அதிகம் ஈர்க்கப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கது.

எனவே, சூரியக் கதிர்வீச்சு பூமியின் பரப்பை வந்தடையும் போது அதன் ஆற்றல் அடிப்படையிலான தீவிரம் குறைந்து ஏறத்தாழ 0.6 கலோரி cm^{-2} min^{-1} என்ற அளவில் உள்ளது. ஆனால் தூசு மண்டலமற்ற தெளிவான சூழ்நிலையில், சூரியன் நேர் உச்சியில் இருக்கும் போது இந்த அளவு 1.2 ஆகவும், 2000 மீட்டர் உயரமுள்ள மலைப்பகுதியில் 1.5 எனவும் இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

இந்த ஒளித்தீவிரத்தில், ஒளியின் தன்மையின் அடிப்படையிலான நிலையை பார்க்கும் போது, புற ஊதாக்கதிர்களின் அளவு 2%—ஆகவும், புலனாகும் நிறமாலைக் கதிர்களின் அளவு 45%—ஆகவும், தொலைச் சிவப்புக் கதிர்களின் அளவு 53%—ஆகவும் உள்ளது. இதில் ஒளிச்சேர்க்கைச் செயலுக்காக ஈர்க்கப்படும் ஒளிக்கதிர்கள் அடங்கிய புலனாகும் நிறமாலைப் பகுதி அதிக விழுக்காட்டில் இருப்பது இங்கு குறிப்பிடத்தக்கது.

16.3 மூலக்கூறுகளின் ஈர்ப்பு நிறமாலை

உயிரினங்களில் உள்ள கரிமச்சேர்மங்களின் மூலக்கூறுகள் அவற்றிற்குரிய குறிப்பிட்ட அலை நிளமுள்ள ஒளிக்கதிர்களை மட்டுமே ஈர்த்துக் கொண்டு வினையாற்றுகின்றன. அப்படிப்பட்ட மூலக்கூறுகளில் குறிப்பிடப்பட வேண்டியவை தாவரங்களில் காணப்படும் ஒளி ஈர்க்கும் நிறமிகளாகும். இவை பச்சையம், கரோட்டினாய்டுகள், ஃபைகோபிலின்கள் என்ற மூன்று நிறமிக் குடும்பங்களாக உள்ளன. ஒவ்வொரு நிறமிக் குடும்பமும் ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளமுள்ள ஒளிக்கதிர்களை அல்லது வண்ணங்களை ஈர்த்துக் கொள்கின்றது. இப்படி ஈர்க்கப்படும் வண்ணங்கள் நிறமாலை எனப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக பச்சைய மூலக்கூறுகள் புலனாகும் நிறமாலையில் வயலெட், இண்டிகோ, ஊதா, சிவப்பு (குறிப்பாக ஊதா, சிவப்பு) ஆகிய வண்ணக் கதிர்களை அதிக அளவில் ஈர்த்துக்கொள்கின்றன. இந்த வண்ணங்கள் அடங்கிய பகுதி பச்சையத்தின் ஈர்ப்பு நிற மாலை எனப்படுகிறது. இது சோரெட் பட்டை (soret band) எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. இதே போல் கரோடினாய்டு நிறமிகள் நீலம், நீலப்பச்சை, பச்சை வண்ணக் கதிர்களை அதிகம் ஈர்க்கின்றன ஃபைகோபிலின்களில் ஃபைகோஎரித்ரின் பச்சைக் கதிர்களையும், ஃபைகோசயனின் ஆரஞ்சு கதிர்களையும், அல்லோஃபைகோசயனின் சிவப்புக் கதிர்களையும் அதிகம் ஈர்த்துக்கொள்கின்றன. இலைகளில் உள்ள பச்சையத்தை மட்டும் வடிசாறாகத் தனித்து பிரித்தெடுத்து, அதனுள் வெள்ளை ஒளிக்கதிர் கற்றையைப் படர் ஒளியாகச் செலுத்தும் போது அதில் உள்ள

சோரட்பட்டையை அமைக்கும் ஒளிக்கதிர்கள் ஈர்க்கப்பட்ட பின்னர், ஊடு கடந்து வெளிவரும் ஒளிக்கதிர் கற்றையில் குறுகிய கரும் பட்டைகள் அல்லது கோடுகள் தெளிவாகப் புலப்படுகின்றன. இக்கோடுகள் கொண்ட பகுதியே பச்சைய நிறமிகளின் ஈர்ப்பு நிறமாலை அடங்கிய பகுதியாகும்.

16.4. ஒளி ஈர்க்கும் மூலக்கூறுகளின் ஆற்றல் நிலைகள்

மூலக்கூறு அல்லது அணு ஃபோட்டான்களை ஈர்க்கும் போது, ஃபோட்டான்களின் மொத்த ஆற்றலும் மூலக்கூறின் அல்லது அணுவின் ஒரு எலக்ட்ரானுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இதனால் எலக்ட்ரான் ஆற்றலும், அதைப் பெற்ற அணுவின் அல்லது மூலக்கூறின் ஆற்றலும் அதிகரிக்கிறது. ஓர் அணுவின் ஒவ்வொரு எலக்ட்ரான் வட்டமும் ஓர் ஆற்றல் நிலையாகும். இது சிப்ப (quantum) நிலை எனப்படுகிறது. ஒவ்வொரு வட்டத்திலும் துணை வட்டங்கள் உள்ளன அதாவது ஒவ்வோர் ஆற்றல் நிலையிலும் துணை ஆற்றல்நிலைகள் காணப்படுகின்றன. ஓர் அணுவின் முதல் வட்டமான 'K' வட்டத்தில் துணை வட்டங்கள் எதுவும் இருப்பதில்லை. இரண்டாவது வட்டமான 'L' வட்டத்தில் 4 துணைவட்டங்களும், மூன்றாவது வட்டமான 'M' வட்டத்தில் 9 துணை வட்டங்களும் காணப்படுகின்றன. இந்த வட்டங்கள் ஒவ்வொன்றிலும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் காணப்படுகிறது. துணைவட்டங்களின் எண்ணிக்கைக்கு ஏற்ப சிப்ப நிலை கணிக்கப்படுகிறது. K வட்டத்தில் துணைவட்டங்கள் ஏதுமில்லாததால் குறைந்த ஆற்றல் அளவைப் பெற்றுள்ளது. L வட்டம் K–ஐ விடவும், M–வட்டம் L–ஐ விடவும் அதிக ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கின்றன.

எலக்ட்ரான்கள் தாங்கள் பெற்றிருக்கும் ஆற்றல்களுக்குத் தகுந்ததைப் போல் உகந்த வட்டங்களைத் தேர்வு செய்து அவ்வட்டங்களில் சுழல்கின்றன. ஒரு மூலக்கூறில் உள்ள அனைத்து அணுக்களிலும், எலக்ட்ரான்கள் அதனதன் உகந்த வட்டங்களில் சுழன்று கொண்டிருக்குமேயானால், அம் மூலக்கூறு தளநிலையில் இருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட மூலக்கூறு ஒளியை ஈர்பதன் மூலம் ஆற்றலைப் பெறும் போது, அதன் அணுக்களில் ஒரு வட்டத்தில் சுழன்று கொண்டிருந்த எலக்ட்ரான் தான் பெற்ற மிகையாற்றல் காரணமாக அந்த ஆற்றலுக்குரிய உயர் வட்டத்திற்கு தாவுகிறது. இந்நிலையில் மூலக்கூறு கிளர்த்தப்பட்ட நிலையில் இருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது.

ஒரே ஆற்றல் அளவைப் பெற்ற இரு எலக்ட்ரான்கள், ஒரு வட்டத்தில் இருக்கும் போது அவ்வட்டத்தில் இவை இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்திசையில் சுழன்று கொண்டிருக்கின்றன.

இந்நிலையில் நிகரச் சுழல் 'O'–ஆகும். இந்நிலைக்கு சிங்லெட் நிலை என்று பெயர். தளநிலையில் இருக்கும் மூலக்கூறுகளின் அணுக்களில் இந்நிலை காணப்படுகிறது. ஆனால் கிளர்த்தப்பட்ட நிலையில் எலக்ட்ரான் உயர் ஆற்றல் வட்டத்தை அடையும் போது அங்கு இரு நிலைகளில் அது சுழலாம். 1) அது முன்பு சுழன்று கொண்டிருந்த அதே திசையில் சுழலுதல் 2) முன்பு சுழன்ற திசைக்கு எதிர் திசையில் சுழலுதல். முதல் நிலையால் நிகர சுழல் மதிப்பில் மாற்றம் ஏற்படுவதில்லை. எனவே அது 'O' – ஆகவே இருக்கும். இதற்குக் கிளர்த்தப்பட்ட சிங்லெட் நிலை என்று பெயர். இரண்டாவது நிலையில் நிகர சுழல் மதிப்பில் மாற்றம் ஏற்படுகிறது. இந்நிலைக்குக் கிளர்த்தப்பட்ட 'டிரிப்லெட்' நிலை என்று பெயர்.

16.5. தளநிலை மீள்தல் (De-excitation)

ஆற்றலை ஈர்த்ததால் கிளர்த்தப்பட்ட நிலையை அடைந்த மூலக்கூறு அல்லது அணு, அதே நிலையில் இருப்பதில்லை. இதன் ஆயுள் காலம் 10^{-12} நொடிப் பொழுது தான். எனவே இக்கால அளவற்குள் மீண்டும் தள நிலைக்குத் திரும்புகிறது. இதற்குத் தளநிலை மீள்தல் அல்லது கிளர்ச்சி நீக்கம் என்று பெயர். இவ்வாறு தளநிலைக்குத் திரும்பும் போது மூலக்கூறு பெற்ற மிகையாற்றல் கீழ்க்கண்ட ஏதாவது ஒரு செயலைச் செய்வதன் மூலம் ஆற்றலை இழந்து மீண்டும் தளநிலைக்குத் திரும்புகிறது:

i) மிகையாற்றல் முழுவதையும் வெப்ப ஆற்றலாக வெளியேற்றி தள நிலைக்குத் திரும்புதல் முதல் வகை. ஈர்க்கப்பட்ட ஃபோட்டான்கள், இங்கு மீண்டும் ஃபோட்டான்களாக வெளியேற்றப்படுகின்றன. ஆனால் இந்த ஃபோட்டான்கள் தொலைச் சிவப்புக் கதிர்களில் உள்ள ஃபோட்டான்களாக, அதாவது வெப்பத்தை உமிழும் ஃபோட்டான்களாக வெளியேற்றப்படுகின்றன.

ii) ஈர்த்த மிகையாற்றலை, புலனாகும் நிறமாலைப் பகுதிக்குள் வரும் ஒளிக்கதிர்களாக (ஃபோட்டான்களாக) வெளியேற்றித் தளநிலைக்குத் திரும்புதல் இரண்டாவது வகையாகும். இங்கு வெளியேற்றப்படும் ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல் அளவு ஈர்க்கப்பட்டவற்றின் ஆற்றல் அளவைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இதையே ஒளியின் அலைப்பண்பில் கூற வேண்டுமானால், ஈர்க்கப்பட்ட ஒளியின் அலைநீளத்தை விட அதிகமான அலைநீளம் பெற்ற கதிர்களாக வெளியேற்றப்படுகிறது எனக் கூறலாம்.

இவ்வாறு ஒளிக்கதிர்கள் வெளியேற்றப்படுதல் பொதுவாகக் கிளர்த்தப்பட்ட முதலாம் சிங்லெட் நிலையிலிருந்து மூலக்கூறு

தளநிலைக்குத் திரும்பும்போது நிகழ்கிறது. இந்நிகழ்ச்சிக்கு மிளிர்தல் (fluorescence) என்று பெயர்.

ஈர்க்கப்பட்ட ஃபோட்டான் ஆற்றல் சில சமயம் மிக அதிகமாக இருக்குமேயானால், மூலக்கூறு கிளர்த்தப்பட்ட இரண்டாம் சிங்லெட் நிலைக்கு உயர்கிறது. இந்நிலையில் நேரடியாக மிளிர்தலைச் செய்ய இயலாது எனவே ஓரளவு ஆற்றலை வெப்பமாக வெளியேற்றி இரண்டாம் சிங்லெட் நிலையிலிருந்து முதலாம் சிங்லெட் நிலைக்கு வந்த பின்னரே மிளிர்தல் நிகழும் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

சில சமயம், கிளர்த்தப்பட்ட மூலக்கூறு முதல் சிங்லெட் நிலையிலிருந்து தள நிலைக்குத் திரும்பாமல், அதாவது ஈர்த்த ஆற்றலை வெப்பமாக அல்லது மிளிர்தல் செயல் மூலம் இழந்து தளநிலைக்குத் திரும்பாமல், ஓரளவு ஆற்றலை வெப்பமாக வெளியேற்றி டிரிப்லெட் நிலையினை அடையலாம். இந்நிலையிலிருந்து தளநிலைக்குத் திரும்பும் போது, மிளிர்தலில் நிகழ்ந்ததைப் போல், கதிர்வீச்சின் மூலம் ஆற்றலை இழந்து திரும்புகிறது. ஆனால் இங்கு நிகழும் கதிர்வீச்சிற்கு ஃபாஸ்ஃபாரெசென்ஸ் (phosphorescence) என்று பெயர். இங்கு வெளியேற்றப்படும் ஒளிக்கதிர்களின் அலை நீளம் மிளிர்தலின் போது வெளியேற்றப்படும் கதிர்களின் அலைநீளத்தை விட அதிகமானதாக இருக்கும். அதாவது மிளிர்தலுக்கான ஃபோட்டான் ஆற்றலை விட அளவு குறைவானதாகும்.

முதலாம் சிங்லெட் நிலையிலிருந்து டிரிப்லெட் நிலைக்கு வரும்போது எலக்ட்ரான் சுழல் திசை, மாறி அமைகிறது என்பது இங்கு குறிப்பிடத்தக்கது. இப்படிப்பட்ட எலக்ட்ரான் தளநிலைக்குத் திரும்பும் பாதையின் ஒவ்வொரு நிலையிலும் சுழல் திசை மாற்ற மடைந்து திரும்ப வேண்டியுள்ளது. எனவே டிரிப்லெட் நிலையிலிருந்து மூலக்கூறு தளநிலைக்கு வர நேரம் சற்று அதிகமாகிறது. அதாவது டிரிப்லெட் நிலையை ஓரளவு நிரந்தர நிலை எனக் கூறலாம். இதன் ஆயுள்காலம் 10^{-3} நொடிப்பொழுதாக உள்ளது (படம்-102).

படம்–102

கிளர்த்துப்பட்ட
இரண்டாம் சிங்லெட் நிலை
(ஆயுள் காலம் 10^{-12}
நொடி)

கிளர்த்துப்பட்ட
முதலாம் சிங்லெட் நிலை

கிளர்த்துப்பட்ட
டிரிப்லெட் நிலை
(ஆயுள் காலம் 10^{-3} நொ

வெப்பம் அல்லது
மிளிர்தல் செயல்

ஃபாஸ்ஃபாரெசென்ஸ் அல்லது
எலக்ட்ரான் வெளியேறுதல

தள நிலை

ஒளி

iii) ஈர்த்த மிகை ஆற்றலை இடமாற்றம் செய்வதன் மூலம் தள நிலைக்குத் திரும்புதல் மூன்றாவது வகையாகும். இங்கு ஒரு மூலக்கூறு அது ஈர்த்த மிகையாற்றலை அருகில் தளநிலையில் உள்ள மூலக்கூறுக்கு மாற்றி அதைக் கிளர்த்தப்பட்ட நிலைக்கு உள்ளாக்கிய பின்னர், அது தளநிலைக்குத் திரும்புகிறது. இந்தவிதமான செயலைத் தாவரங்களில் உள்ள ஒளி ஈர்க்கும் இரண்டாம் நிலை நிறமிகள் செய்கின்றன. இம்மூலக்கூறுகளும் பச்சையத்தைப் போல் ஒளியாற்றலை ஈர்க்கின்றன, ஆனால் ஈர்த்த ஆற்றலை வினைமையத்தில் உள்ள ஒளி வேதிவினையில் பங்கு கொள்ளும் பச்சைய மூலக்கூறுகளுக்கு அனுப்பிவிடுகின்றன.

iv) தான் ஈர்த்த மிகை ஆற்றலைக், கிளர்த்தப்பட்ட மூலக்கூறுகள், வேதிவினைகளை நிகழ்த்தத் தேவைப்படும் ஆற்றலாக மாற்றித் தளநிலைக்குத் திரும்புதல் நான்காவது வகையாகும். இந்நிலையின் போது கிளர்த்தப்பட்ட மூலக்கூறு தன்னிடமுள்ள, ஆற்றல் மிகு எலக்ட்ரானை வெளியேற்றுவதன் மூலம் தளநிலைக்குத் திரும்புகிறது. எலக்ட்ரானை இழந்த மூலக்கூறு நேர் மின்சுமை பெற்ற துகளாகிறது. இதற்கு ஒளி ஆக்சிகரணம் என்று பெயர். ஆற்றல் மிகு எலக்ட்ரான் ஒளி வேதி வினைக்குத் தேவையான ஆற்றலைக் கொடுத்துஉதவி மீண்டும் எந்த மூலக்கூறிலிருந்து வெளியேறியதோ அதே மூலக்கூறை வந்தடையலாம். இந்த விதமான ஒளி வேதியவினை ஒளிச்சேர்க்கையின் ஒளிவினையில் நிகழ்கிறது.

****

17. கதிர்வீச்சும் அதன் உயிரிய முக்கியத்துவமும் (Radiation and its Biological Importance)

கதிர்வீச்சு என்பது சுற்றுவெளியில் அல்லது பொருள்கள் கொண்ட ஓர் ஊடகத்தில் பரவக்கூடிய, மின்காந்த இயல்புடைய ஒரு வகை ஆற்றலாகும். இவை அலைபோல் பரவும் தன்மையுடையவை. சூரியனிலிருந்து வெளிப்படும், பூமியை வந்தடையும் புலனாகும் நிறமாலையை அமைக்கும் ஒளி உட்பட அனைத்து மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளும் இயற்கையில் உருவாகும் கதிர்வீச்சுகளாகும். சூரியக் கதிர்வீச்சுகள் தவிர புவியில் உள்ள கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளின் சிதைவின்போது தோன்றும் துகள்வுரு பொருட்களிலிருந்தும் கதிர்வீச்சுகள் வெளிப்படுகின்றன. இவை தவிர மனித நடவடிக்கைகள் பலவற்றினால் விளையும் கதிர்வீச்சகளும் வளிமண்டலத்தில் விடப்படுகின்றன. இவை யாவும் புவியில் வாழும் அனைத்து உயிரனங்களிலும் பல்வேறு தாக்கங்களை விளைவிப்பதால், இவற்றின் தோற்றவழி, தன்மை, வகைகள், உயிரிய முக்கியத்துவம் ஆகியவற்றைப் பற்றி அறிந்து கொள்ளுதல் மிகவும் இன்றியமையாததாகும்.

17.1. கதிர்வீச்சு மூலங்கள் (Radiation sources)

தோற்றவழியின் அடிப்படையில் கதிர்வீச்சை இயற்கை பின்னணிக் கதிர்வீச்சுகள் என்றும் மனிதவழித் தோன்றிய கதிர்வீச்சகள் எனவும் வகைப்படுத்தலாம்.

17.1.1. இயற்கை பின்னணிக் கதிர்வீச்சுகள்

காஸ்மிக் கதிர்வீச்சு, சூரியக் கதிர்வீச்சு, நிலவழிக் கதிர்வீச்சு, ரேடான் கதிர்வீச்சு ஆகிய நான்கும் இயற்கை பின்னணிக் கதிர்வீச்சுகளாகும். இவையாவும் முதல்நிலைத் தோற்றவழிக் கதிர்வீச்சுகள் எனப்படுகின்றன.

(i). காஸ்மிக் கதிர்வீச்சுகள்: சூரிய மண்டலத்திற்கு வெளியிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சு காஸ்மிக் கதிர்வீச்சுகளாகும். பூமியில் உள்ளஅனைத்து உயிரிகளும் தொடர்ந்து இக்கதிர்வீச்சிற்கு உட்படுகின்றன. ஏறத்தாழ 90% காஸ்மிக் கதிர்வீச்சு நேர்மின்சுமை பெற்ற புரோட்டான்களால் ஆனது. எனவே இது ஒரு துகள்வுரு கதிர்வீச்சாகும். இக்கதிர்வீச்சு பூமியின் வளிமண்டலத்துடன் எதிரெதிர் செயல்விளைவை ஏற்படுத்தி, X–கதிர்கள், புரோட்டான்கள், ஆல்ஃபா துகள்கள், எலக்ட்ரான்கள், நியூட்ரான்கள், பையான்கள் (pions) போன்ற இரண்டாம் கதிர்வீச்சு மழையைப் பொழியச்செய்கிறது. இக்கதிர்வீச்சுகளின் தாக்கம் பூமிக்கு அருகமைந்த

வளிமண்டலத்தைவிட உயரமான ஸ்ட்ராட்டோஸ்ஃபியர் பகுதியில் மிக அதிகமாக உள்ளது.

(ii). சூரியக் கதிர்வீச்சுகள்: இது முற்றிலும் ஒரு மின்காந்தக் கதிர்வீச்சாகும். இது அமைக்கும் பல்வேறு ஒளிநிழற்பட்டைகளில், பூமிக்கு வரும் புலனாகும் நிறமாலை தீங்கற்றது. எனெனில் இதனை அமைக்கும் ஒளிக்கதிர்கள் உயர் ஆற்றல் கதிர்கள் அல்ல. சூரியக்கதிர்வீச்சில் வெளிப்படும் உயர்ஆற்றல் கதிர்கள் அடங்கிய ஒளிநிழற்பட்டையில், ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமா, X–கதிர்கள், சில ஆற்றல்மிகு புறஊதாக்கதிர்கள் ஆகியவை ஸ்ட்ராட்டோஸ்ஃபியாரில் உள்ள ஓசோன் படலத்தால் ஈர்க்கபட்டுவிடுகின்றன. இதேபோல் உயர்வெப்பக் கதிர்களான அகச்சிவப்புக் கதிர்கள் சிலவும் ஓசோன் படலத்திற்குக் கீழாக உள்ள, CO_2, நீர்த்துளிகள் அடங்கிய பகுதியில் ஈர்க்கப்பட்டு விடுவதால் தீங்கிழைக்காத அகச்சிவப்புக் கதிர்களே பூமியை வந்தடைகின்றன.

(iii). நிலவழிக் கதிர்வீச்சுகள்: இவையாவும் பூமியில் காணப்படும் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளால் விளையும் கதிர்வீச்சுகளாகும். இவை நிலத்தில் உள்ள பாறைகள், மணற்பகுதிகள், தாவரங்கள், விலங்குகள் ஆகிய அனைத்திலும் இயற்கையிலேயே ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் காணப்படுகின்றன. நிலவெளிக் கதிர்வீச்சிற்குக் காரணமாயிருக்கும் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளில் பொட்டாசியம் (^{40}K), கார்பன் (^{14}C), யுரேனியம் (^{238}U), தோரியம் (Th), ரேடியம் (^{226}Ra) ஆகியவை குறிப்பிடத்தக்கவை. இவற்றிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சுகள் வீரியமிக்கவை. இருப்பினும், இவற்றின் வீரியம், புவிதோன்றிய காலத்திலிருந்ததைவிட தற்போது குறைவாகவே உள்ளது. இவற்றுள் பொட்டாசியம், கார்பன் ஆகியவற்றின் ஐசோடோப்புகள் குறைந்த அளவில் காணப்படுகின்றன. யுரேனியம், தோரியம் ஆகியவற்றின் ஐசோடோப் வரிசைகள் அதிக அளவில் காணப்படுவதுடன், மிக அதிகமான அரைச்சிதைவுக் காலத்தைப் பெற்றிருப்பதால் நீண்ட காலத்திற்கு வாழக்கூடியதாக உள்ளன. ^{14}C போன்ற ஐசோடோப்புகள் குறைந்த அரைச்சிதைவுக் காலத்தைப் பெற்றிருந்தாலும், காஸ்மிக் கதிர்கள் வளிமண்டலத்திலுள்ள நைட்ரஜனுடன் வினைபுரிந்து, தொடர்ந்து இவை உற்பத்தியாகிக் கொண்டிருப்பதன் மூலம், ஏறத்தாழ நிலையான தோர்அளவில் காணப்படுகின்றன.

(iv). ரேடான் கதிர்வீச்சு: நிலத்தில் காணப்படும் ரேடியம் ஐசோடோப்புகளின் சிதைவால் உருவாகி வாயுவாகக் கசிந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு இதுவாகும். யுரேனியம் எங்கெல்லாம் காணப்படுகிறதோ அங்கெல்லாம் ரேடியமுமம் காணப்படும். யுரேனியம் கதிரியக்கச் சிதைவடையும்போது, ரேடியம் ஐசோடோப்புகள்

வெளிப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். ரேடான் தோற்றவழியைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.



$^{238}U \rightarrow {}^{226}Ra \rightarrow {}^{222}Rn.$

தனிமனித இயற்கைக் கதிர்வீச்சு வெளிப்பாட்டில் அதிகப் பங்களிப்பை ரேடான் ஒன்று மட்டுமே செய்வது குறிப்பிடத்தக்கது. அதிக அடர்த்தி கொண்டதாக இது திகழ்வதால் காற்றோட்டமற்ற சூழலில் இதன் செறிவு அதிகரிக்கிறது. இருப்பினும் அரைச்சிதைவுக்காலம் மிகக்குறுகியதாக, அதாவது ஒரு சில நாட்களாக இருப்பதால், உருவாகும் இலக்கிலிருந்து விலகிச் செல்லச்செல்ல இதன் செறிவு குறைந்து கொண்டே செல்வது குறிப்பிடத்தக்கது. எனவே, வளிமண்டலத்தில் இதன் செறிவு இடத்திற்கு இடம் பெரிதும் வேறுபடுகிறது. பொதுவாக, கிரானைட் அல்லது மென் களிக்கற்கள்கொண்ட இடங்களில் மிகக்குறைந்த அதாவது எச்ச அளவிலாவது யுரேனியம் காணப்படுதலால், இவற்றின் சிதைவிலிருந்து ரேடான் தொடர்ந்து உற்பத்தியாக வாய்ப்புள்ளது. ஏனெனில் யுரேனியத்தின் அரைச்சிதைவுக் காலம் சுமார் **4.5** பில்லியன் ஆண்டாகக் கருதப்படுகிறது.

17.1.2. மனிதவழித் தோன்றும் கதிர்வீச்சுகள்

அணுமின்நிலையங்களை அமைத்து மின் உற்பத்தியைப் பெருக்கவும், உயிரியல் ஆய்வுக்கூடங்களிலும், மருத்துவத் துறையிலும், வேறு சில தொழிற்சாலைகளிலும் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் மனிதனால் கையாளப்படுகின்றன. அணு வெடிப்புச் சோதனைகள் செய்வதாலும், அணுமின்நிலையங்களில் அணுஉலை வெடித்து விபத்துகள் நிகழ்வதாலும், மருத்துவத் துறையில் X-கதிர்களை உண்டாக்கும் கருவிகளைக் கையாள்வதாலும், உயிரியல் ஆயிவுக்கூடங்களில் சிலசமயம் தவறான விதத்தில் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளை கையாள்வதாலும், கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளைப் பயன்படுத்தி மின் விளக்குகள், தொலைக்காட்சிப் பெட்டிகள் தயாரிக்கும் தொழிற்சாலைகளாலும், கடிகாரங்களுக்கு ரேடியம் பூசும் தொழிற்சாலைகளாலும் கதிர்வீச்சகள் வெளிப்படுகின்றன. இவை அனைத்தும் மனித வழித் தோன்றும் கதிர்வீச்சுகளாகும்.

17.2. கதிாவீச்சுகளின் செயல்தன்மை

செயல்படும் விதத்தின் அடிப்படையில் அயனியாக்கும்கதிர்வீச்சு (ionizing radiation), அயனியாக்கா கதிர்வீச்சு (non-ionizing radiation) என இரு வகைகளாகப் பாகுபடுத்தலாம்.

17.2.1. அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சு

இது மின்காந்தக் கதிர்வீச்சாகவோ அல்லது துகள் உரு கதிர்வீச்சாகவோ இருக்கலாம். சூரியக் கதிர்வீச்சின்

ஒளிநிழற்பட்டைகளில், ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமா, X–கதிக்கள், சில ஆற்றல்மிகு புறஊதாக்கதிர்கள் ஆகியவை அயனியாக்கும் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளாகும். கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளிலிருந்து வெளிப்படும் ஆல்ஃபா துகள்கள், பீட்டா துகள்கள், அதிவேக நியூட்ரான்கள் ஆகியவை அயனியாக்கும் துகள் உரு கதிர்வீச்சுகளாகும்.

அயனியாக்கும் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளில் X–கதிர்களும், காமாகதிர்களும் 0.001 முதல் 1 நானோ மீட்டர் அளவுடைய அலைநீளத்தையும், உயர் ஆற்றலையும் பெற்ற கதிர்வீச்சுகளாகும். இவை ஆற்றல் சிப்பங்கள் எனப்படும் ஃபோட்டான்களைப் பெற்ற கதிர்வீச்சுகள் ஆகும். பொருட்களின் மூலக்கூறுகள் அல்லது அணுக்களின்மேல் இந்த ஃபோட்டான்கள் படும்போது, அவற்றில் உள்ள ஆற்றல், அணுவின் அல்லது மூலக்கூறின் எலக்ட்ரான் ஒன்றிற்கு மாற்றப்படுகிறது. இதனால், அது உயர் ஆற்றல் எலக்ட்ரானாக மாற்றப்பட்டு அணுவிலிருந்து உதை பந்து போல் வெளியேற்றப்படுகிறது. எனவே, அணுவின் உட்கரு நேர்மின்சுமை பெறுகிறது. இந்த அயனியாக்கச் செயலினால் ஃபோட்டானின் ஆற்றல் குறைந்து இதனைப்பெற்ற கதிரின் அலைநீளம் அதிகரிக்கிறது. அடுத்தடுத்து நிகழும் அயனியாக்க விளைவுகளால் அலைநீள அளவு அதிகரித்து ஆற்றல் குறைந்த கதிராக மாற்றப்படுகிறது.

அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சுகளில் காமாகதிர்கள், கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளான ^{14}C, ^{60}Co போன்றவற்றின் சிதைவின்போதும் வெளியேற்றப்படுகின்றன. இவற்றுள் ^{60}Co சிதைவால் உருவாகும் காமாகதிர்கள் உயிரியல் ஆய்வுகளுக்குப் பயனுள்ள கதிர்களாகும்.

அயனியாக்கும் துகள் உரு கதிர்வீச்சுகளில் பீட்டா துகள்கள், ^{3}H, ^{32}P, ^{35}S போன்ற கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளின் சிதைவால் உருவாகும் உயர் ஆற்றல் எலக்ட்ரான்களாகும். இவை வெளிப்படுத்தும் பீட்டா கதிர்கள் X-கதிர்களுடன் ஒப்பிடும்போது குறைந்த ஊடுருவும் தன்மை கொண்டுள்ளன. உயிரினங்களின் திசுக்களில் உள்ள நேர்மின்சுமை கொண்ட மூலக்கூறுகளால் இதன் பாயும் வேகம் தணிக்கப்படுகிறது. அணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரானை உந்தித் தள்ளும் அளவிற்கு பீட்டா கதிர்களின் ஆற்றல் இருப்பின், அங்கு அயனியாக்கச் செயல் நிகழ்கிறது.

அந்த அளவிற்கு ஆற்றல் இல்லையெனில், அணுவில் உள்ள எலக்ட்ரான் வெளியேற்றப்படாமல் உயர் ஆற்றல் வட்டத்திற்கு உந்தித் தள்ளப்படுகிறது. அதற்கு அணுக்கிளர்த்தல் என்று பெயர்.

ஆல்ஃபா துகள்கள், உயர் வகை தனிம ஐசோடோப்புகளின் சிதைவால் உருவாகும், இரு புரோட்டான்கள், இரு நியூட்ரான்கள் கொண்ட துகள்களாகும். எனவே இரு நேர்மின்சுமை பெற்ற துகள்களாகும். அதிக எடை கொண்ட துகள்களாக இவை இருப்பதால் இவற்றின் கதிர்வீச்சு நேர்கோட்டில் அமைந்திருப்பதுடன் எலக்ட்ரான் ஈர்ப்புத்தன்மையை அதிகம் பெற்றுள்ளது. எனவே, அணுக்களின் மேல் படும்போது அவற்றிலிருந்து எலக்டரான்களை வெளியே இழுத்து, அவற்றின் உட்கருக்களுக்கு நேர்மின்சுமைத் தன்மையை ஏற்படுத்துகிறது. இந்த அயனியாக்கச் செயல் தவிர, அணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரானை கிளர்த்தலடையச் செய்யவும் இவற்றினால் முடியும். பீட்டா துகள்கள், நியூட்ரான் துகள்கள் ஆகிய இரண்டையும்விட இவை குறைந்த ஊடுருவும் தன்மை பெற்றுள்ளன.

உயர் தனிமங்களின் மூலகங்களின் ஐசோடோப்புகள் அணு உலைகளில் சிதைவுறும்போது அதிவேக நியூட்ரான்கள் அவற்றிலிருந்து வெளிப்படுகின்றன. மின்சுமை அற்ற துகள்களாக இவை இருப்பதால், உயிரினங்களின் திசுக்களில் இவற்றின் ஊடுருவும் தன்மை மிக அதிகமாக உள்ளது. இவைகளும் நேர்கோட்டில் பாயும் தன்மை பெற்றுள்ளன. அணுக்களின் எலக்ட்ரான்களுடன் மின்காந்தவியல் முறையில் இவை இடைச்செயல் புரிவதில்லை. எனவே, நேரடியாக அயனியாக்கல் விளைவை ஏற்படுத்த முடிவதில்லை. ஆனால், குறைந்த அணு எடை பெற்ற ஹைட்ரஜன் அணுக்களுடன் இடைச்செயல் புரிந்து அதன் உட்கருவை வெளித்தள்ளுகிறது. பில்லியார்டு (billiard) விளையாட்டில் ஒரு பந்து தனது முழு இடம்பெயரும் ஆற்றலை எவ்வாறு மோதும் பந்தின்மேல் செலுத்துகிறதோ, அதே போல் இது நிகழ்கிறது. இவ்வாறு வெளியேறும் உட்கரு, மின்சுமை பெற்ற உயர்வேக புரோட்டானாக, அதாவது ஐசோடோப்பைப்போல் செயல்படுவதால், இது சிதையும்போது வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு, பிற மூலக்கூறுகளிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை அகற்றி அயனியாக்கல் விளைவை ஏற்படுத்துகிறது. சிதைவின் முடிவில் ஆற்றலை இழந்த உட்கரு மீண்டும் ஹைட்ரஜன் அணுவின் உட்கருவாக திரும்புவது குறிப்பிடத்தக்கது.

17.2.2. அயனியாக்கா கதிர்வீச்சு (Non-ionizing radiation)

சூரியனின் மின்காந்த ஒளிநிழற்பட்டையில் உள்ள, புவியை வந்தடையும் புறஊதாக்கதிர்கள், அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சுகளைப்போல் அதிக அளவில் ஆற்றலைப் பெற்றிருப்பதில்லை. இருப்பினும் உயர் தாவரங்கள், விலங்குகள் ஆகியவற்றில் படும்போது, அவற்றின் பரப்பு அடுக்கு செல்களைமட்டும் ஊடுருவிச் செல்கின்றன. ஆனால் அங்கு அயனியாக்கல் விளைவை ஏற்படுத்துவதில்லை. மாறாக, இவை எதிர்கொள்ளும் அணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரான்களை, அணுவின் உயர் ஆற்றல் வட்டத்திற்கு உந்தித் தள்ளிவிடுகின்றன. இதற்கு அணுக்கிளர்த்தல் என்று பெயர்.

17.3. கதிர் வீச்சினால் ஏற்படும் உயிரிய விளைவுகள்

அயனி வடிவிலோ அல்லது கிளர்த்தப்பட்ட நிலையிலோ உள்ள அணுக்களைப் பெற்ற மூலக்கூறுகள், அவை இயல்பான நிலையில் இருந்ததைவிட, அதிக வேதிவினையடையக் கூடியனவாக உள்ளன. உயிரினங்களின் DNA–வில், அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சுகள், அயனியாக்கா கதிர்வீச்சுகள் ஆகிய இரண்டினாலும், இப்படிப்பட்ட வினையடையக்கூடிய அணுக்கள் தோன்றுவதால்தான் அவற்றில் திடீர்மாற்றங்கள் நிகழ்ந்து, உயிரினங்களின் மரபுப் பண்புகளில் வேறுபாடுகள் தோன்றுகின்றன.

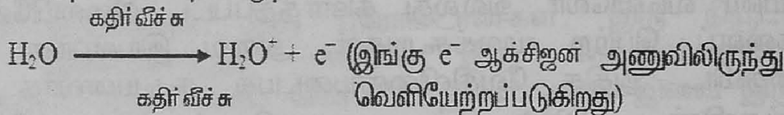
அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சு செயல்படும் விதம் நேரடியாகவோ அல்லது மறைமுகமாவோ உள்ளது. நேரடி விளைவின்போது கதிர்வீச்சு ஆற்றல் DNA-மூலக்கூறுக்கு நேரடியாக மாற்றப்பட்டு, அதன் நைட்ரஜன் காரங்களில் ஏதேனும் ஒன்றில் மாற்றத்தை விளைவித்து, குரோமோசோம்களின் அமைப்பில் பிறட்ச்சிகள் ஏற்படக் காரணமாகிறது. மறைமுக விளைவின்போது, அதிவேகமாக வினைபடும் ராடிகல்கள் செல்லில் தோன்றுகின்றன. இவை பின்னர் ஆற்றலை DNA-மூலக்கூறுக்கு மாற்றுவதால் சடுதிமாற்ற விளைவுகள் தோன்றுகின்றன. இச்செயல்களின் விளக்கம் பின்வருமாறு.

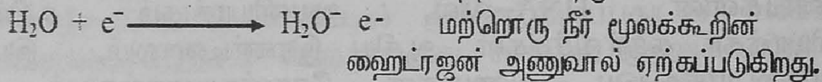
i) இணைஅயனிகள் தோன்றுதல் (Formation of ion pair): அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சின் முதல்நிலை விளைவு இதுவாகும். இச்செயலின்போது அணுவிலிருந்து ஒரு எலக்ட்ரான் வெளித் தள்ளப்படுகிறது. எனவே இவ்வணுவைப் பெற்ற மூலக்கூறு நேர் மின்சுமை அடைகிறது. வெளியேற்றப்பட்ட எலக்ட்ரானை மற்றொரு மூலக்கூறு பெற்று எதிர் மின்சுமையைப் பெறுகிறது. எனவே, மின்சுமை பெற்ற இணை அயனிகள் தோன்றுகின்றன.

ii) கட்டுறா ராடிகல்கள் தோன்றுதல் (Formation of free radicals): மேற்கூறிய செயலால் உருவான இணை அயனிகள், சேர்மானச் சிதைவடைந்து, மின்சுமையற்ற ஆனால் அதிவேக வினையாற்றும் கட்டுறா ராடிகல்கள் இரண்டு உருவாகின்றன. இவை பிற மூலக்கூறுகளுடன் வினைபுரிந்து, தகாத விளைவுகளை ஏற்படுத்துகின்றன.

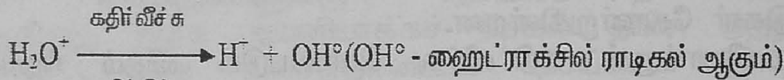
இவ்வாறு இணை அயனிகள் தோன்றுதல், வினைபடும் ராடிகல்கள் தோன்றுதல் ஆகிய இரு செயல்களும், நீர் மூலக்கூறு ஒன்று கதிர்வீச்சிற்கு உட்படும்போதும் நிகழ்கின்றன. இவை கீழ்க்கண்டவாறு நிகழ்கின்றன.

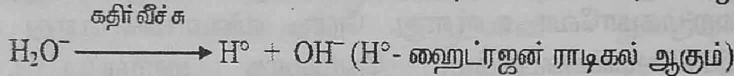
i) இணைஅயனிகள் தோன்றுதல்:



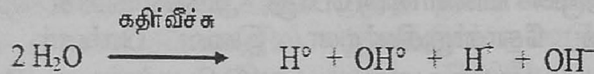


ii) ராடிகலகள் தொன்றுதல்:





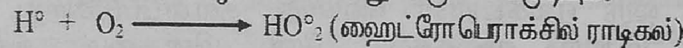
இந்த இரு செயல்களையும் ஒட்டு மொத்தமாகக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்

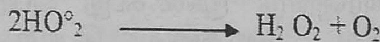


இவற்றுள் H°, OH° ஆகிய வினையூக்க ராடிகல்கள் இரண்டும் ஒன்று சோந்து H_2O_2 என்ற ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடை உரவாக்குகின்றன.



அத்துடன் ஆக்சிஜன் மூலக்கூறு உள்ள நிலையில் ஹைடராக்சில் ராடிகல் மட்டுமே H_2O_2–வை கீழ்க்கண்டவாறு உருவாக்கமுடியும்.





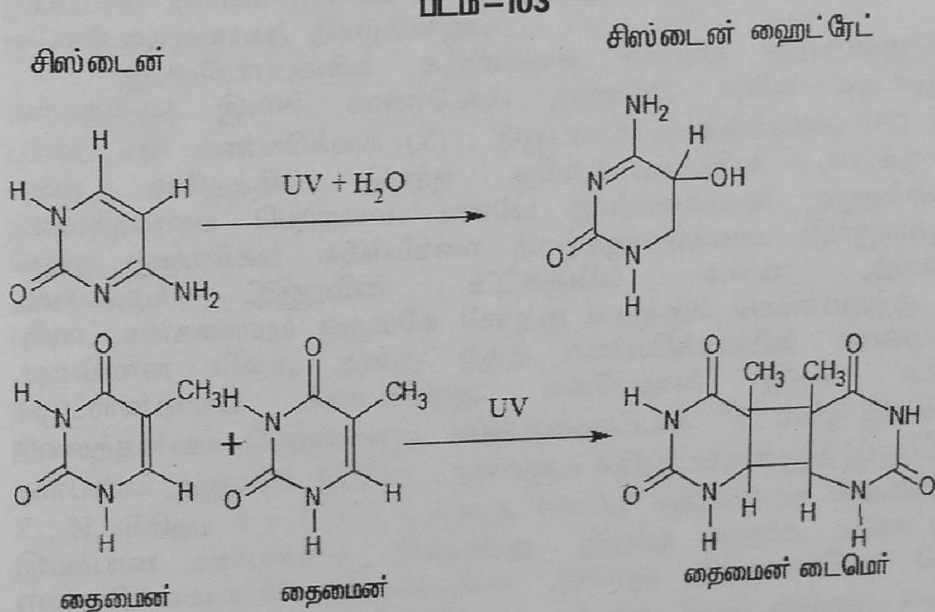
ஆக்சிஜன் உள்ள நிலையில் H_2O_2 உருவாவது அதிகரிக்கின்ற காரணத்தால்தான், சில உயிரினங்கள் கதிர்வீச்சிற்கு உட்படும்போது, ஆக்சிஜன் செறிவு அதிகரிப்பு, சடுதிமாற்ற விளைவை அதிகப்படுத்துகிறது.

H_2O_2 உள்ள நிலையில் DNA மூலக்கூறு ஒன்றின் நைட்ரஜன் காரத்தில் மாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன அல்லது இக்காரங்களில் ஒன்று நீக்கப்படுகிறது அல்லது DNA–யில் ஹட்ரஜன் பிணைப்புகள் துண்டிக்கப்பட்டு அதன் முறுக்கிழையில் தளர்வு ஏற்பட்டு குரோமசோம்களில் துண்டிப்பு நிகழ்தல் போன்ற செயல்களில் ஏதாவது ஒன்று நிகழ்ந்து சடுதிமாற்ற விளைவு ஏற்படுகிறது. எனவேதான் ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடினால் ஏற்படும் பாதக விளைவைத் தடுத்துக் கொள்ள உயிரினங்கள் கேடலேஸ் என்ற நொதியைப் பயன்படுத்துகின்றன.

அயனியாக்கா கதிர்வீச்சான UV கதிர்கள் கீழ்க்கண்டவாறு சடுதிமாற்ற விளைவுகளை ஏற்படுத்துகின்றன.

பியூரின், பிரமிடின் காரங்கள் UV கதிர்களை எளிதில் ஈர்க்கக் கூடியவை. இதனால் அவை கிளர்த்தப்பட்ட நிலையை அடைகின்றன. UV கதிர்களுக்கு அயனியாக்கும் கதிர்வீச்சுகளைவிட குறைந்த ஆற்றல் அளவே இருப்பதால் பலசெல் உயிரிகளான உயர்தாவரங்களில் ஆழமாகச் சென்று பாதிப்பை ஏற்படுத்த முடிவதில்லை. ஆனால் ஒற்றைச் செல் உயிரிகளான நுண்ணுயிரிகளில் இவை திறன்மிக்க சடுதிமாற்றக் காரணிகளாக உள்ளன. இவ்வுயிரிகளின் DNA மூலக்கூறு 254 நானோமீட்டர் அலைநீளமுள்ள UV கதிர்களை அதிக விழுக்காட்டில் ஈர்க்கும்போது உச்சக்கட்ட சடுதிமாற்ற விளைவு ஏற்படுகிறது. குறிப்பாகப் பிரமிடின்கள் இக்கதிர்களை அதிகம் ஈர்த்து பிரமிடின்ஹைட்ரேட்டுகள் (pyramidine hydrates), பிரமிடின் டைமெர்கள் (pyramidine dimmers) போன்ற விளைபொருட்கள் உண்டாகின்றன. சிஸ்டைன் ஹைட்ரேட் (cystine hydrate), தைமைன் டைமெர் (thymine dimer) ஆகியவை இவ்வாறு தோன்றும் சேர்மங்களாகும். இவற்றுள் தைமைன்டைமெர் அதிக அளவில் சடுதிமாற்ற விளைவை ஏற்படுத்துகிறது (படம்–103).

படம்–103



தைமைன் டைமெர்கள் கீழ்க்கண்ட இரு விதங்களில் சடுதிமாற்ற விளைவை ஏற்படுத்துகின்றன. (i) DNA இரட்டிப்பின்போது அதன் இரட்டை முறுக்கிழை தளர்வதில் பாதிப்பு ஏற்பட்டு, DNA இரட்டிப்புத் துல்லியமாக நிகழ்வது தடைபடுகிறது. (ii) தைமைன் டைமெர் பெற்ற DNA–வில் அயனியாக்கக் கதிர்வீச்சினால் பாதிப்பு ஏற்படுமாயின், அப்பாதிப்புச் சரிசெய்து கொள்ளப்படுதல் தடைப்படுகிறது. இதனால் சடுதிமாற்ற விளைவு நிரந்தரமடைகிறது.

18. தாவர வாழ்வியல் சோதனைகளில் ஐசோடோப்புகளின் பங்கு

ஒத்த அணு எண்ணையும் ஆனால், வேறுபட்ட அணு எடைகளையும் பெற்ற, தனிம மூலகம் ஒன்றின் வெவ்வேறு அணுக்கள் ஐசோடோப்புகள் எனப்படுகின்றன.

வெவ்வேறு அணுக்களாக இருப்பினும், இவற்றைப் பெற்ற தனிம மூலகங்கள் தனிம அட்டவணையில் ஒரே இலக்கில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே, இவற்றை ஓரகத்தனிமங்கள் என்றும் கூறலாம். ஒரு மூலகத்தின் பல வகைகளாக இவை திகழ்ந்தாலும், ஒத்த அணு எண்ணைப் பெற்ற (அதாவது உட்கருவில் உள்ள புரோட்டான் எண்ணிக்கையில் ஒத்த, உட்கருவைச்சுற்றி வரும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையில் ஒத்த) அணுக்களைக் கொண்டிருப்பதால், இவற்றின் வேதி இயல்பில் மாற்றம் ஏதும் காணப்படுவதில்லை. ஆனால், நியூட்ரான் எண்ணிக்கை வேறுபட்டிருப்பதால், மாறுபட்ட அணு எடைகளை இவை பெற்றிருக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக கார்பன் மூலகத்தில் ^{11}C, ^{12}C, ^{14}C என வரிசையில் அமைந்த ஐசோடோப்புகள் உள்ளன. இவற்றுள் ^{12}C இயல்பான கார்பன் மூலகம் எனப்படுகிறது. மற்ற இரண்டும் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளாகத் திகழ்கின்றன.

ஐசோடோப்புகளில் கதிரியக்கத் தன்மை ஏற்படுவதற்காண காரணத்தை இனிக் காண்போம். அணுவில் உள்ள உட்கருவின் புரோட்டான் எண்ணிக்கை (Z) : நியூட்ரான் எண்ணிக்கை (N) 1 : 1 என்ற விகிதத்தில் பெற்ற ஐசோடோப்புகளின் உட்கருக்கள் நிலைத்தன்மை பெற்றவை. எனவே இவ்வகையான அணுக்களைப் பெற்ற மூலகங்கள் கதிர்வீச்சை நிகழ்த்துவதில்லை. இம்மூலகத்தை அமைக்கும் அணுவின் உட்கருவில் உள்ள அனைத்து புரோட்டான்களையும் ஒருங்கே சேர்த்து வைத்துக் கொள்வதற்கு ஏற்ற அளவிலான விசை, அங்கு ஒத்த எண்ணிக்கையில் காணப்படும் நியூட்ரான்களால் கிடைக்கிறது. எனவேதான் இதன் உட்கரு நிலைத்தன்மை பெற்றுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக ^{12}C என்ற இயல்பான கார்பனின் அணுவில், 6 புரோட்டான்களும் 6 நியூட்ரான்களும் இருப்பதால் Z : N விகிதம் 1 : 1 என உள்ளது. எனவே கதிர்வீச்சை வெளியிடாத, இயல்பான கார்பனாகத் திகழ்கிறது. இதற்கு மாறாக, புரோட்டான் எண்ணிக்கையைக் குறைவாகவோ அல்லது அதிகமாகவோ பெற்ற ஐசோடோப்புகளில் Z : N விகிதம் 1 : 1 என இருப்பதில்லை. எனவே இவை அணு எடையில், இயல்பான மூலகத்தின் அணுவிலிருந்து வேறுபடுவதுடன், இவற்றின் உட்கருக்கள் நிலைத்தன்மை

அற்றவைகளாக உள்ளன. இவற்றின் உட்கருக்களில் புரோட்டான்களை ஒருங்கே சேர்த்து வைப்பதற்கான சமவிசை கிடைக்காததால், அவை நிலைத்தன்மையற்றதாகி ஆற்றல் மிகுந்த உட்கருக்களாக மாறுகின்றன. எனவேதான் இவற்றின் Z : N விகிதம் **1 : 1** என்ற நிலையை அடையும் வரை தங்களது ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சாக வெளியேற்றுகின்றன. இக்கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் கதிர்வீச்சினால் ஆற்றலை இழக்கும் செயலுக்குக் கதிரியக்கச் சிதைவு (radioactive decay) என்று பெயர். கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள், நெகாட்ரான் (negatron), பாசிட்ரான் (positron), அல்ஃபா துகள்கள் (alpha particles) போன்ற துகள்களை வெளியேற்றுவதன் மூலம் கதிரியக்கச் சிதைவடைகின்றன. எனவேதான், இவை வெளிப்படும் கதிர்வீச்சிற்குத் துகள் உரு கதிர்வீச்சு என்று பெயர். புரோட்டான் எண்ணிக்கையைக் குறைவாகப்பெற்ற ^{11}C (Z+N=5+6), அதிகமாகப்பெற்ற ^{14}C (Z+N=8+6) ஆகியவை கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

18.1. வளர்சிதைமாற்ற ஆராய்ச்சியில் இவற்றின் பங்கு

உயிர்வேதியலில், வளர்சிதைமாற்ற ஆராய்ச்சிக்குத்தான் ஐசோடோப்புகள் அதிக அளவில் கையாளப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, அமினோஅமில வளர்சிதைமாற்றம், புரதங்களின் உயிரிய உற்பத்தி, ஒளிச்சேர்க்கை, கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் சிதைவுச்செயல், கொழுப்பு அமிலங்களின் சிதைவுச்செயல் நியூக்ளிக் அமில உற்பத்தி, TCA-சுழற்சி ஆகிய அனைத்து தாவரவாழ்வியல் செயல்களையும் தெரிந்து கொள்ள, இவை ஒவ்வொன்றிலும் நிகழும் வரிசையான வேதிய நிகழ்வுகளில், ஏறத்தாழ ஒவ்வொரு நிகழ்விலும் இவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

கிழ்க்கண்ட பொதுவான ஒரு விளக்கத்தினைக் கொண்டு இதனை நாம் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

ஐசோடோப் கார்பன் (^{14}C) பெற்ற 'A' என்ற ஒரு பொருளை நாம் ஒரு தாவரத்திற்கு அளிப்பதாகக் கொள்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்திற்குப் பிறகு அத்தாவரத்திலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட 'E' சேர்மத்தில் கதிரியக்கக் கார்பன் இருப்பது தெரியவந்தால் அதைக் கொண்டு நாம் இரு முடிவுகளைப் பெறமுடியும். 'E' சேர்மம் A-யிலிருந்து தோன்றிய விளைபொருள் என்பதும், 'A' சேர்மம் E-யின் முன்னோடிப் பொருள் என்பதும் இந்த இரு முடிவுகளாகும். எனவே ஓர் உயிர்வேதிய நிகழ்வின் விளை பொருள்–முன்னோடிப் பொருள் ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள உறவைத் தெரிந்து கொள்ளக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் பயன்படுகின்றன.

தாவரத்திற்கு ^{14}C அளித்த பின்னர், முடிவுப்பொருள் உருவாவதற்கு முன்பு இடையிடையே இடையூறு செய்து சேர்மங்களைப் பிரித்தெடுத்து, கதிரியக்கக் கார்பன் எந்தெந்த

இடைச்சேர்மங்களில் உள்ளன என்பதைக் கண்டறிவதன் மூலம், அந்த வாழ்வியல் செயலின் முழு வழித்தடத்தையும் நாம் தெரிந்து கொள்ள முடியும். கதிரியக்கக் கார்பன் வழித்தடத்தைக் கொண்டு இந்த முறையில் ஒளிச்சேர்க்கையின் இருள் கிரியையின் நிகழ்வை, மெல்வின் கால்வின் (Melvin Calvin) என்பவர், முதன்முறையாகக் கண்டறிந்து சாதனை படைத்ததுடன் **1968–ஆம்** ஆண்டிற்கான உயிர் வேதியல் துறைக்கான நோபல் பரிசையும் பெற்றார். குளோரெல்லா என்ற ஒற்றைச் செல் ஆல்காக்களை ^{14}C ஐசோடோப் கார்பன் கொண்ட சூழலுக்கு உட்படுத்திய பின்னர், குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கு ஒளிக்கு உட்படுத்தி, பின்னர் வெவ்வேறு இடைவெளிகளில் இவற்றின் செல்களிலிருந்து வெளிப்பட்ட கரையும் தன்மை கொண்ட கரிமச் சேர்மங்களைத் தாள் நிறப்பிரிகை மூலம் பிரித்தெடுத்து, அச்சேர்மங்களில் எவற்றிலெல்லாம் கதிரியிக்க ஐசோடோப்புகள் இருந்ததோ அவற்றை இனமறிந்து, ஒளிச்சேர்க்கையில் கார்பன் வழித்தடத்தை அவரால் கண்டறிய முடிந்தது. இவற்றைக் கொண்டு ஒரு சுழல் நிகழ்வை அவரால் திட்டமிட முடிந்தது. இதற்குக் கால்வின் சுழற்சி என்று பின்னர் பெயரிடப்பட்டது.

18.2. தாவரத்தினுள் பொருட்களின் விரவலைப் படித்தறிவதில் இவற்றின் பங்கு

தாவரத்தில் எந்தப்பொருளின் விரவலை படித்தறிய வேண்டுமோ அந்தப் பொருள் ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய, ஆனால் தீங்கிழைக்காத குறிப்பிட்ட ஐசோடோப்பை, அப்பொருள் விரவலடையும் பகுதியில் செலுத்திய பின்னர், தாவரத்தின் பல்வேறு இலக்குகளில், அல்லது முழு உயிரினத்தில், அந்த ஐசோடோபின் தடம் கண்டறிந்து அப்பொருளின் விரவலைத் தீர்மானித்து விடலாம். எந்த அளவில், எவ்வளவு கால அளவில் விரவல் நிகழ்கிறது என்பதையும் சிலசமயம் கணக்கிட்டுவிடலாம். இந்த விரவலை, முழுத் தாவரத்திலோ, அதன் உறுப்புகளிலோ, திசு அல்லது செல்மட்டத்திலோ நாம் படித்தறியலாம்.

தாவரத்திற்கு ஐசோடோப் அளித்ததும், குறிப்பிட காலத்திற்குப் பிறகு, நாற்றுப் பருவமாக இருப்பின் முழுத்தாவரத்தை, மற்றவற்றில் தாவரத்தின் குறிப்பிட்ட உறுப்பை அல்லது திசுவில் படித்தறிய வேண்டுமாயின், தாவரப்பகுதியின் உள்ளமைப்பைக் காட்டும் மெல்லிய வெட்டுத் துண்டத்தை, நிழற்படத் தாள் தகட்டில் பதியவைத்து ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்திற்குப் பிறகு, இத்தகட்டின் மறிநிலைப் படிவத்தைப் (negative) பார்த்தல், கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் காணப்படும் இடங்களில் எல்லாம் கதிர்வீச்சு வெளிப்பட்டிருந்ததால் அப்பகுதிகள், கரும் பட்டைகளாகப் புலப்படுவதைக் காணலாம். இதைக் கொண்டு ஆய்விற்கு எடுத்துக் கொண்ட பொருள் எத்திசையில், எப்பகுதிகளுக்கு, எந்த வீதத்தில் கடத்தப்படுகின்றன என்பதைத்

தெரிந்து கொள்ளலாம். இந்தவித ஆய்வு முறைக்குக் சுயகதிரியக்கப் படமெடுப்பு (autoradiography) என்று பெயர்.

எடுத்துக்காட்டாக, ஃபுளோயத்தின் வழியாக உணவு கடத்தப்படுகிறது என்பதையும், இக்கடத்தும் செயல் ஒளிச்சேர்க்கை நிகழும் இலைகளிலிருந்து அச்செயலைச் செய்யாத பகுதிகளை நோக்கி நிகழ்கிறது என்பதையும் இந்த முறையில் கண்டறியலாம். இதற்கு, இலையின் இலையிடைத்திசுப் பகுதியில் ^{14}C ஐசோடோப் கார்பனை அளிக்கும்போது, அவை ஒளிச்சேர்க்கையின் மூலம் தயாரிக்கப்படும் உணவுப்பொருட்களில் கூட்டிணைவடைகிறது. அப்பொருள் கடத்தப்படும்போது, கடந்து செல்லும் பாதையை ஐசோடோப்பின் தடமறிந்து நாம் இனம்காணலாம். இதே போல் சைலத்தின் வழியாக நீர் கடத்தப்படுகிறது என்பதையும், இச்செயல் வேரிலிருந்து தண்டுத் தொகுப்பை நோக்கி நிகழ்கிறது என்பதையும், தாவரத்திற்கு டிரிஷியம் கொண்ட நீரான (tritiated water) $^{3}H_2O$-வை அளிப்பதன் மூலம் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இதே முறையிலான ஆய்வைக் குறிப்பிட்ட உறுப்புகளில் மட்டுமே காணப்படும் தனிமங்களையும், அல்லது சேர்க்கையுறும் தனிமங்களையும் அந்தந்தத் தனிமங்களின் ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டு கண்டறியலாம்.

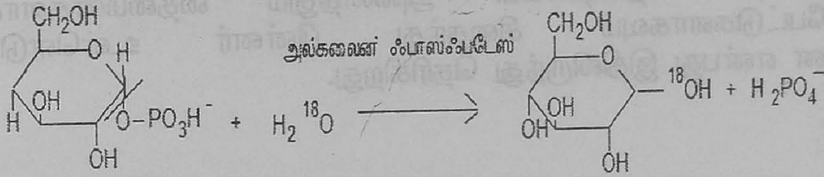
18.3. நொதிகள் செயல்படும் முறையை அறிவதில் இவற்றின் பங்கு

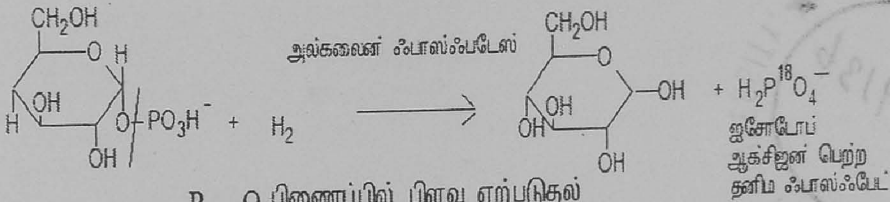
நொதி ஒன்றின் வினை நிகழும்போது, ஊடகத்திற்கு குறிப்பிட்ட ஐசோடோப்பை அளித்து, அது பரிமாற்றம் அடைவதைக் கொண்டு அந்நொதி செயல்படும் விதத்தைப் படித்தறியலாம். எடுத்துக்காட்டாக, குளூகோஸ்–1–ஃபாஸ்ஃபேட் என்ற தளப்பொருளை, அல்கலைன் ஃபாஸ்ஃபடேஸ் (alkaline phosphatase) என்ற நொதியால் நீராற்பகுப்புறச் செய்யும்போது, பிளவு நிகழ்ந்து ஃபாஸ்ஃபேட் அகற்றப்படும் போது, பிளவு C ® O பிணைப்பில் ஏற்படுகிறதா அல்லது P ® O பிணைப்பில் ஏற்படுகிறதா என்பதை ஐசோடோப் ஆக்சிஜன் பெற்ற நீரை ஊடகத்திற்கு அளிப்பதன் மூலம் கண்டறியலாம்.

C ® O பிணைப்பில் பிளவு நிகழ்ந்தால் ஐசோடோப் ஆக்சிஜன் பெற்ற குளூகோஸ் மூலக்கூறும், தனிம ஃபாஸ்ஃபேட்டும் விளைபொருட்களாக உருவாகின்றன. மாறாக, P ® O பிணைப்பில் பிளவு நிகழ்ந்தால் ஐசோடோப் ஆக்சிஜன் பெற்ற தனிம ஃபாஸ்ஃபேட்டும், இயல்பான குளூகோஸ் மூலக்கூறுகளும் உருவாகின்றன (படம்–104).

படம்–104

C — O பிணைப்பில் பிளவு ஏற்படுதல்





P — O பிணைப்பில் பிளவு ஏற்படுதல்

18.4. சவ்வுகளின் செலுத்து திறனை படித்தறிவதில் இவற்றின் பங்கு

பொதுவாக, மின்பகுளிகளாகத் திகழாத கரிமச்சேர்மங்களை, பிளாஸ்மாச் சவ்வு செலுத்தும் திறனை எளிதில் கண்டறியலாம். அனால், இவை எளிதில் வளர்சிதைமாற்றமடையாத உயிரிய முக்கியத்துவமற்ற சேர்மங்களாகத் திகழ்கின்றன. இதற்கு மாறாக உயிரிய முக்கியத்துவம் பெற்ற, மின்பகுளிகளாகத் திகழும் சேர்மங்களை பிளாஸ்மாச் சவ்வு செலுத்தும் திறனைக் கண்டறிவது எளிதான செயல் அல்ல. ஆனால், கதிரியிக்க ஐசோடோப்புகளைப் பயன்படுத்தி தற்போது எளிதில் இது கண்டறியப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, கால்சியம், சோடியம், பொட்டாசியம் ஆகியவற்றின் கதிரியிக்க ஐசோடோப்புகளைப் (^{45}C, ^{24}Na, ^{42}K) பயன்படுத்தித் திசுக்கள், செல்கள் ஆகியவற்றில் இத்தனிமங்கள் கடத்தப்படும் விதம், இவற்றில் இத்தனிம அயனிகள் சேர்க்கை அடைவதால் ஏற்படக்கூடிய இடைவிடா மாற்றங்கள் ஆகியவை படித்தறியப்படுகின்றன. இந்த மாற்றங்கள் வளர்சிதைமாற்றச் செயல்களில் அதிகத் தாக்கங்களை ஏற்படுத்துவதால், இதைத் தெரிந்து கொள்வது மிக முக்கியமாகக் கருதப்படுகிறது.

பாக்டீரியங்கள் நியூக்ளியோடைடுகளை நேரடியாக உள்ளெடுப்பதில்லை. மாறாக, அவற்றை நைட்ரஜன் காரங்களாகவும், ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாகவும் உடைத்து பின்னர் இரண்டையும் உள்ளெடுக்கின்றன என்ற உண்மை கதிரியிக்க ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளைக் கொண்டு செய்த சோதனைகள் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக,

^{32}P என்ற ஐசோடோப் ஃபாஸ்ஃபேட் பெற்ற தைமிடின்கள் பாக்டீரியங்களுக்கு அளிக்கப்படும்போது அவை கதிரியக்கத்தைச் செய்கின்றன. இது பாக்டீரியத்தில் காணப்படும் கதிரியக்க ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளால் நிகழ்கிறதே தவிர அதனைப்பெற்ற தைமிடின்களால் அல்ல எனக் கண்டறியப்பட்டது. எனவே கொடுக்கப்பட்ட தைமிடின்கள் அனைத்தும் தைமைன்களாகவும் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளாகவும் சிதைந்து பின்னர் உள்ளெடுக்கப் பட்டுள்ளன என்பது இதிலிருந்து தெரிகிறது.

